

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Кафедра геодезії та картографії

05-04-102

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з навчальної дисципліни «Топографія з основами геодезії»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійними програмами
«Геологія» спеціальності 103 «Науки про Землю»,
«Конструктивна географія, управління водними та мінеральними
ресурсами», «Географія рекреації і туризму»
спеціальності 106 «Географія»
денної і заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною радою
з якості ННІ ВГП
Протокол № 11 від 25.06.2020 р.

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Топографія з основами геодезії» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Геологія» спеціальності 103 «Науки про Землю», «Конструктивна географія, управління водними та мінеральними ресурсами», «Географія рекреації і туризму» спеціальності 106 «Географія» денної і заочної форм навчання [Електронне видання] / Остапчук С. М. – Рівне : НУВГП, 2020. – 77 с.

Укладач: Остапчук С. М., к. т. н., доцент кафедри геодезії та картографії.

Відповідальний за випуск: Янчук Р. М., к. т. н., доцент, завідувач кафедри геодезії та картографії.

Керівник групи забезпечення освітньо-професійної програми «Геологія» спеціальності 103 «Науки про Землю»: Мельничук В.Г., д. геол. н., професор, завідувач кафедри геології та гідрології.

Керівник групи забезпечення освітньо-професійної програми «Конструктивна географія, управління водними та мінеральними ресурсами» спеціальності 106 «Географія»: Корбутяк М.В., к. геогр. н., доцент кафедри туризму та готельно-ресторанної справи.

Керівник групи забезпечення освітньо-професійної програми «Географія рекреації і туризму» спеціальності 106 «Географія»: Меліхова Т.Л., к. геогр. н., доцент кафедри фінансів та економіки природокористування.

© Остапчук С. М., 2020

© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2020

Зміст

Тема 1. Загальні відомості з топографії та геодезії.....	5
1.1. Предмет топографії та геодезії, їх значення та зв'язок з іншими науками.....	5
1.2. Поняття про форму і розміри Землі.....	6
1.3. Системи координат.....	7
1.4. Системи висот.....	10
Тема 2. Загальні відомості про топографічні плани та карти.....	12
2.1. Суть топографічних планів, карт, профілів земної поверхні. Класифікація планів та карт.....	12
2.2. Схема оформлення карти. Елементи карти. Зображення на картах прямокутних та географічних координат.....	13
2.3. Масштаби, точність масштабу.....	16
2.4. Розграфлення та номенклатура топографічних карт та планів.....	17
2.5. Умовні топографічні знаки.....	20
2.6. Рельєф і його зображення на топографічних картах та планах.....	22
Тема 3. Розв'язування задач за топографічними картами.....	26
3.1. Визначення за картою та нанесення на карту точки за прямокутними координатами.....	26
3.2. Визначення відстаней між точками за відомими прямокутними координатами.....	28
3.3. Визначення за картою та нанесення на карту точки за географічними координатами.....	28
3.4. Визначення висот точок за горизонталями.....	29
3.5. Визначення крутизни схилів та кутів нахилу за горизонталями.....	30
3.6. Визначення за горизонталями довжини похилої на місцевості лінії.....	32
3.7. Побудова профілю лінії за заданим напрямком.....	33
Тема 4. Орієнтування ліній.....	35
4.1. Загальні відомості про орієнтування ліній.....	35
4.2. Визначення істинних та магнітних азимутів.....	35
4.3. Визначення дирекційних кутів і румбів заданих напрямків.....	37
4.4. Передача орієнтирних напрямків через кути повороту.....	39
Тема 5. Лінійні вимірювання.....	40
5.1. Загальні відомості про вимірювання довжин ліній.....	40
5.2. Вимірювання довжин ліній стрічками та рулеткам, врахування поправок.....	40
5.3. Лінійні вимірювання оптичними далекомірами, світло- і радіовіддалемірами.....	41

Тема 6. Загальні відомості про кутові вимірювання та теодоліти.....	44
6.1. Принцип вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів.....	44
6.2. Теодоліти, їх призначення, класифікація.....	45
6.3. Основні частини теодоліта. Зняття відліків.....	45
6.4. Перевірки та юстування теодоліта.....	48
Тема 7. Вимірювання кутів теодолітом.....	50
7.1. Приведення теодоліта в робоче положення.....	50
7.2. Вимірювання горизонтальних кутів.....	50
7.3. Вимірювання вертикальних кутів.....	52
Тема 8. Загальні відомості про нівелювання та нівеліри.....	54
8.1. Види нівелювання.....	54
8.2. Способи геометричного нівелювання.....	54
8.3. Будова нівеліра та рейок. Зняття відліків.....	55
8.4. Перевірки та юстування нівеліра.....	59
Тема 9. Виконання технічного нівелювання.....	61
9.1. Нівелірні ходи.....	61
9.2. Порядок роботи на станції нівелювання.....	61
9.3. Визначення перевищень та висот точок. Журнал нівелювання.....	62
Тема 10. Топографічні знімання місцевості.....	65
10.1. Загальні відомості про знімання.....	65
10.2. Способи знімання ситуації.....	65
10.3. Види топографічних знімачів.....	69
Тема 11. Орієнтування на місцевості. Глобальні позиційні системи.....	71
11.1. Суть орієнтування та орієнтири. Визначення напрямів при орієнтуванні на місцевості.....	71
11.2. Визначення відстаней при орієнтуванні на місцевості.....	72
11.3. Визначення горизонтальних і вертикальних кутів, висот предметів простими способами.....	73
11.4. Загальні відомості про глобальні позиційні системи.....	74
Література.....	77

Тема 1.

Загальні відомості з топографії та геодезії.

- 1.1. Предмет топографії та геодезії, їх значення та зв'язок з іншими науками.
- 1.2. Поняття про форму і розміри Землі.
- 1.3. Системи координат.
- 1.4. Системи висот.

1.1. Вивченням Землі займаються багато наук, серед яких особливе місце належить одним із найбільш давніх і точних – топографії та геодезії.

- *Топографія* – наукова дисципліна, яка займається детальним вивченням земної поверхні (тобто елементів її фізичної поверхні та розташованих на ній об'єктів діяльності людини) у геометричному розумінні, а також розробкою способів відображення цієї поверхні на площині у вигляді топографічних карт чи планів.

Саме слово *топографія* має грецьке походження і у перекладі означає: *τόπος* – місце, *γράφω* – пишу.

- *Геодезія* – наука, яка вивчає форму і розміри Землі, розробляє питання створення планової і висотної основ для детального вивчення фізичної поверхні Землі засобами і методами топографії та картографії.

Слово *геодезія* також має грецькі корені і у перекладі означає: *γεωδαισία* – букв. «ділення землі», від *γῆ* - земля, *δαίζω* – ділити.

Цілком зрозуміло, що це споріднені науки, об'єднані багатьма спільними інтересами і самим об'єктом дослідження. Їх можна розглядати ланками одного ланцюга, оскільки вони керуються єдиними або в усякому роді близькими науковими принципами, методами, користуються подібними технічними засобами.

Методи та засоби розв'язання задач топографії та геодезії ґрунтуються на широкому використанні математики, фізики, астрономії, інформатики, приладобудування, електроніки.

Немає такої галузі людської діяльності, яка, будучи пов'язана з вивченням, освоєнням і використанням території або акваторії, могла б обійтися без топографії та геодезії. Сюди з повним правом можна віднести вивчення географічного середовища, розвідку та експлуатацію природних багатств, планування та розміщення продуктивних сил, проектування, будівництво та експлуатацію інженерних споруд, розробку і здійснення економічних, екологічних, соціальних, політичних, військових, навігаційних та інших задач.

В умовах нової інформаційної епохи, сучасного рівня технічного забезпечення та запитів сьогодення геодезичні роботи і топографічні знімання виконуються у різних масштабах і діапазонах, з різними просторовим охопленням, ведуться і на землі, і під землею, на поверхні води і під водою, з повітря і з космосу. Це відкриває широкі перспективи для подальшого розвитку топографії та геодезії.

1.2. Земля не є математично правильною і простою геометричною фігурою. Хоча задача вибору найбільш адекватної моделі є досить складною задачею, найбільш достовірні дані про форму та розміри Землі надзвичайно важливі для різних галузей народного господарства і особливо для розвитку науки. Коли стало відомо, що Земля в першому наближенні є еліпсоїдом обертання, вчені почали займатись визначенням його розмірів (відомі еліпсоїди Деламбра, Вальбека, Евереста, Ейрі, Кларка, Бесселя, Хейфорда та ін.). З 1946 р. в СРСР був прийнятий до використання еліпсоїд Красовського (пізніше він залишився дійсним на території колишнього СРСР, в тому числі і в Україні).

Розміри еліпсоїда (рис. 1.1) характеризуються довжинами його півосей: a – велика піввісь, b – мала піввісь і полярним стисненням α .

Розміри еліпсоїда Красовського:

$$a = 6378245 \text{ м},$$

$$b = 6356863 \text{ м}$$

Полярне стиснення:

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,3}. \quad (1.1)$$

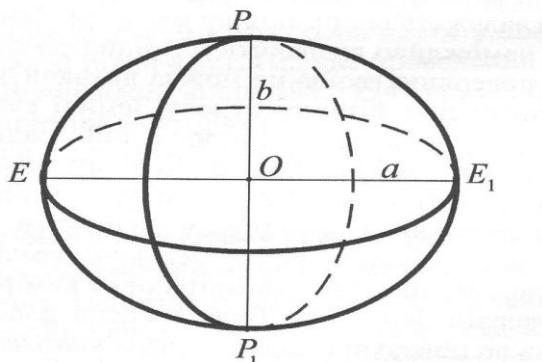


Рис. 1.1. Земний еліпсоїд

Еліпсоїд Красовського є *референц-еліпсоїдом*. Елементи референц-еліпсоїда встановлюють за умови найкращої відповідності його фігури Землі на певній частині її поверхні.

Фігура Землі, як зазначалося, представляє дуже складну поверхню, що не є простою геометричною фігурою. Таку складну фігуру німецький фізик Лістінг (1873 р.) назвав геоїдом.

- *Геоїд* – це геометричне тіло, що обмежене рівневою поверхнею, яка збігається з поверхнею морів та океанів при спокійному стані водних мас й уявно продовженою під материками таким чином, щоб напрямки сил тяжіння перетинали її під прямим кутом.

У середині XX ст. радянський вчений Молоденський доказав, що форма геоїда не може бути точно визначена без знань внутрішньої будови Землі. Він запропонував визначати не фігуру геоїда (як це виконувалося раніше), а фігуру рельєфу Землі на основі астрономічних, геодезичних та гравіметричних вимірів і замінити геоїд - *квазігеоїдом* (близьким). Поверхня квазігеоїда на морях і океанах співпадає з геоїдом, а на суші відрізняється на декілька метрів.

1.3. *Координати* – це величини, які визначають положення точок на поверхні або у просторі відносно прийнятої системи координат. Система координат встановлює початкові (вихідні) точки поверхні або лінії відліку необхідних величин – початок відліку координат, одиниці їх обчислення.

У топографії та геодезії найбільше застосування отримали системи географічних, прямокутних і полярних координат.

Систему географічних координат застосовують для визначення положення точок Землі на еліпсоїді (кулі). Вихідними площинами в цій системі є площини початкового меридіана і екватора, а координатами – кутові величини: довгота і широта (рис. 1.2).

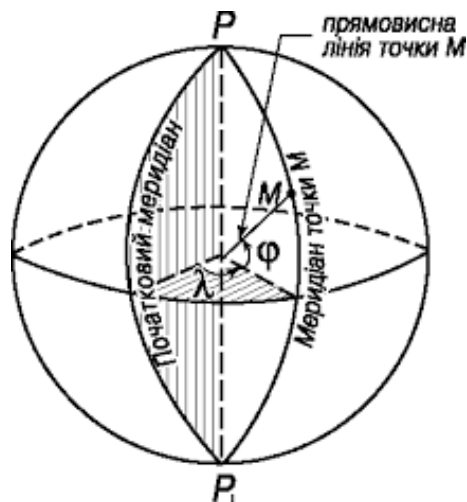


Рис. 1.2. Географічні координати на земному еліпсоїді

- *Географічною широтою (φ)* називається кут між прямовисною лінією в даній точці і площиною екватора.

Широти відраховують по дузі меридіана в обидві сторони від екватора до земних полюсів, тому вони бувають північні і південні та мають значення від 0° до 90° .

- *Географічною довготою (λ)* називається двогранний кут між площинами початкового меридіана та меридіана даної точки.

Довготи відлічують по дузі паралелі в обидві сторони від початкового меридіана, тому вони бувають східні і західні та мають значення від 0° до 180° .

Прямокутна система координат основана на визначенні положення точок на площині відносно двох координатних осей – абсцис (x) і ординат (y), які перетинаються у деякій точці (початку координат).

На відміну від системи координат француза Декарта у топографії і геодезії прийнята система координат німецьких вчених Гаусса-Крюгера (з перевернутими осями).

Зональну систему плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера використовують при великомасштабних зображеннях значної частини земної поверхні на площині. Для великомасштабного картографування необхідна проекція, яка забезпечувала б збереження подібного зображення фігур при переході з поверхні кулі на площину. Таким вимогам відповідає прийнята *поперечно-циліндрична рівнокутна проекція Гаусса-Крюгера*.

Для зображення поверхні земної кулі на площині в проекції Гаусса-Крюгера, поверхню розмічують меридіанами на зони шириною 6° по довготі (рис. 1.3).

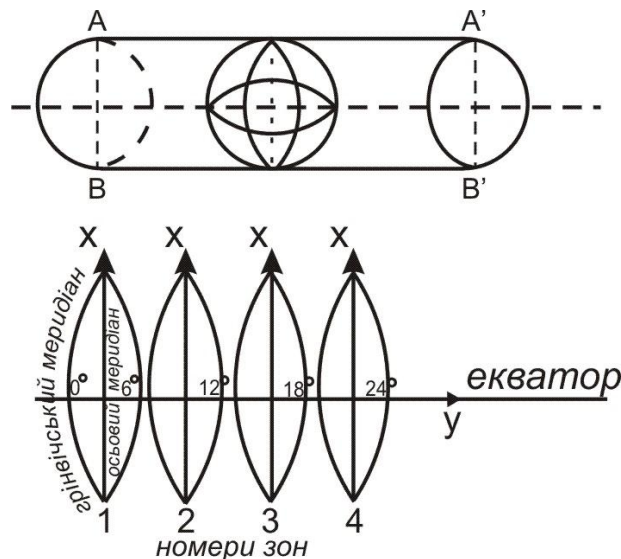


Рис. 1.3. Зональна система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера

Шестиградусні зони позначаються арабськими цифрами від 1 до 60 і починають лічити від Грінвічського меридіана. Щоб зменшити викривлення проєкції, при укладанні картографічних матеріалів масштабу 1:5 000 і більше застосовують триградусну зону. Середній меридіан кожної зони називається *осьовим*. Осьові меридіани зон і лінія екватора є прямолінійні, а всі інші меридіани і паралелі – криві. Спотворення розмірів контурів поблизу осьових меридіанів мінімальні і збільшуються по мірі віддалення від них.

За вісь абсцис (Ox) приймають вісь осьового меридіана, яка має додатній напрямок на північ, а за вісь ординат (Oy) приймають лінію екватора, яка має додатній напрямок на схід. Чверті нумеруються за рухом годинникової стрілки, починаючи від додатного напрямку осі x (рис. 1.4).

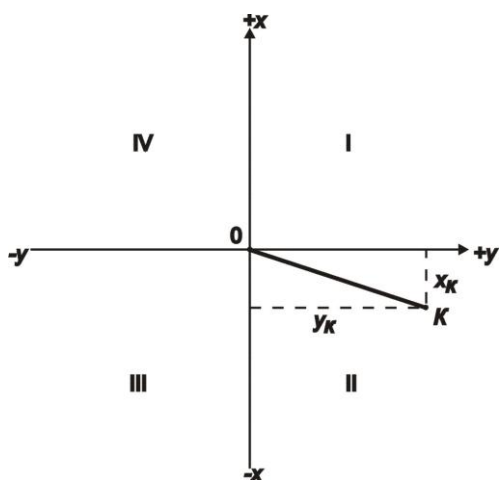


Рис. 1.4. Система прямокутних координат

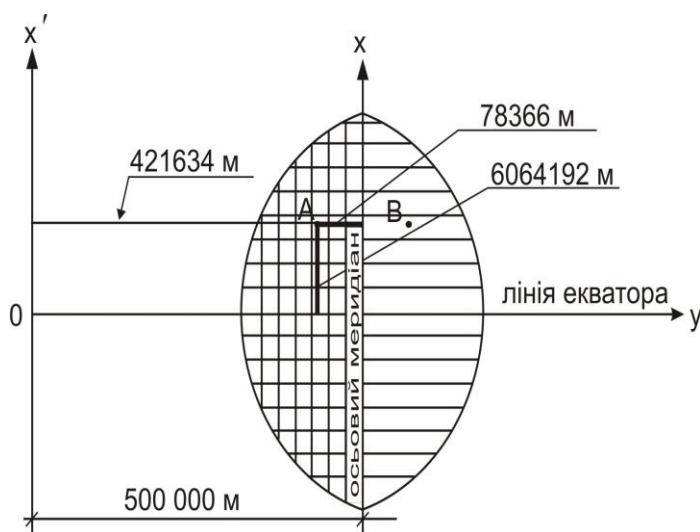


Рис. 1.5. Відлік координат в системі Гаусса-Крюгера

За початок відліку координат в кожній зоні приймається перетин осьового меридіана і екватора. Система координат в кожній зоні однакова. Для території України, яка знаходиться у північній півкулі, абсциси завжди додатні. Для того, щоб і ординати були додатніми, початок відліку ординат зміщують на захід від осьового меридіана на 500 км (рис. 1.5).

Перетворена ордината починається з номера зони. Наприклад, якщо точка знаходиться в 12 зоні на захід від осьового меридіана на 78366 м, то перетворена ордината матиме значення $y=12421634$ м (т. А на рис. 1.5). У випадку, коли точка знаходиться на схід від осьового меридіана на 78366 м, то її перетворена ордината матиме значення $y=12078366$ м (т. В на рис. 1.5).

Систему полярних координат становить початкова точка O (полюс) і полярна вісь OX (рис. 1.6). Полярна вісь може проходити довільно або збігатися із напрямком меридіана, що проходить через полюс.

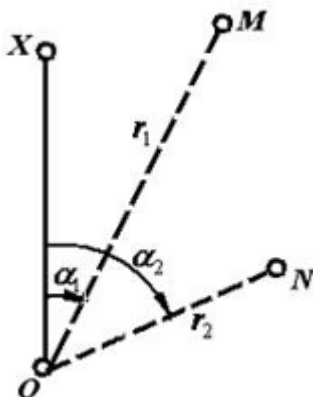


Рис. 1.6. Полярна система координат

Положення будь-якої точки визначається радіус-вектором (r), що з'єднує дану точку з полюсом та полярним кутом (α). Полярні кути прийнято відлічувати від полярної осі за рухом годинникової стрілки від 0° до 360° .

1.4. Для визначення положення точки земної поверхні, крім координат, потрібно знати висоту.

- *Висотою точки* називається віддаль, яка визначена за прямовисною лінією, від точки на поверхні Землі до певної рівневої поверхні, прийнятої за початок відліку.

Якщо висоти точок визначені відносно основної рівневої поверхні, то такі висоти називаються *абсолютними* (рис. 1.7).

На території України за основну рівневу поверхню прийнято середній багаторічний рівень Балтійського моря і визначення висот ведеться від нуля

Кронштадтського футштоку – мідної рейки, закріпленої на мосту через один із Обвідних каналів у Кронштадті (Балтійська система висот).

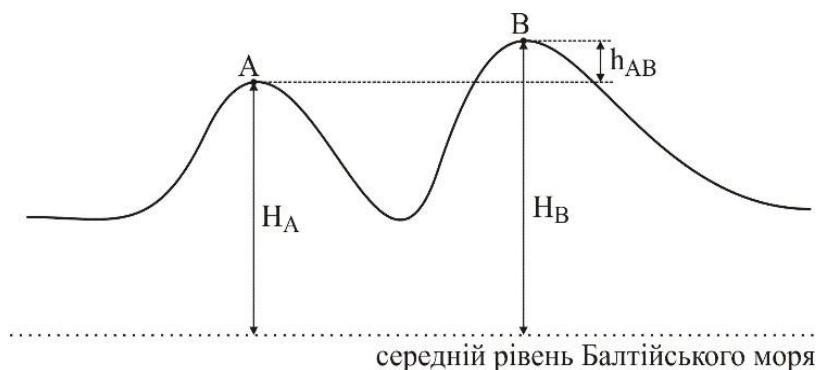


Рис. 1.7. Висоти точок

Висоти точок обчислені відносно деякої умовної рівневої поверхні називаються *відносними* або *умовними*.

Різниця висот двох точок називається *перевищенням* і обчислюється за формулою:

$$h_{AB} = H_B - H_A. \quad (1.2)$$

Тема 2.

Загальні відомості про топографічні плани та карти.

- 2.1. Суть топографічних планів, карт, профілів земної поверхні.
Класифікація планів та карт.
- 2.2. Схема оформлення карти. Елементи карти. Зображення на картах прямокутних та географічних координат.
- 2.3. Масштаби, точність масштабу.
- 2.4. Розграфлення та номенклатура топографічних карт та планів.
- 2.5. Умовні топографічні знаки.
- 2.6. Рельєф і його зображення на топографічних картах та планах.

2.1. Згідно державного стандарту термінів та визначень:

- *карта (мапа)* – зменшене, побудоване в картографічній проекції, узагальнене і виконане в певній системі умовних позначень зображення земної поверхні, іншого небесного тіла чи позаземного простору з розміщеними на них об'єктами реальної дійсності;
- *топографічна карта* – детальна карта, за допомогою якої можна визначити планове і висотне місцеположення точок земної поверхні;
- *топографічний план* – великомасштабне картографічне зображення на площині в ортогональній проекції обмеженої частини місцевості, в якому не враховується кривизна земної поверхні;
- *профіль* – зменшене зображення вертикального розрізу місцевості за заданим напрямом.

Топографічні карти створюють для порівняно значних частин земної поверхні із врахуванням її кривизни і нанесеною сіткою меридіанів та паралелей, яку називають картографічною. Карти укладають у масштабах 1:10 000 і дрібніше.

Топографічні карти створюють із врахуванням практичних потреб людської діяльності. Завдяки багатству змісту, градації масштабів, точності і продуманості оформлення такі карти забезпечують розв'язок різноманітних задач, необхідних для вивчення і використання території. Разом з тим, топографічні карти використовуються як вихідні картографічні матеріали для створення географічної основи тематичних карт.

Топографічні плани будують для порівняно невеликих ділянок (до 20х20 км). Картографічна сітка на них відсутня, масштаби 1:500-1:5 000. Оскільки порівняно з картами плани мають крупніший масштаб, то вони відзначаються більшою детальністю зображення.

Топографічні плани, як правило, призначаються для розробки генеральних планів, технічних проектів і робочих креслень при забезпеченні будівництва різноманітних інженерних споруд.

Профіль прийнято будувати у двох масштабах: горизонтальному і вертикальному. Як правило, горизонтальний масштаб приймається рівним масштабу карти чи плану, а вертикальний для забезпечення виразності рельєфу – у 10 чи 20 разів крупнішим.

Усі топографічні карти та плани видаються на основі єдиних норм, стандартів та настанов, що забезпечують їх високий науково-технічний рівень.

Класифікацію планів та карт виконують за різними ознаками, основними з яких є зміст та масштаб.

За змістом географічні карти розділяють на загальногеографічні і тематичні. Загальногеографічні карти відображають сукупність основних елементів місцевості, тобто показують гідрографію, рельєф, населені пункти, шляхи сполучення та інші елементи місцевості. Особливість їх змісту визначається масштабом карти. В залежності від масштабу їх ділять на топографічні, оглядово-топографічні та оглядові. Тематичні карти, основний зміст яких визначається конкретною темою відображення, спеціально присвячені якому-небудь елементу або явищу (населені пункти, клімат, транспорт, події історії тощо). Вони діляться на карти природних явищ та карти суспільних явищ, які, в свою чергу, групуються за більш вузькими галузями картографування.

За масштабом карти поділяються на три групи:

- великомасштабні (масштаб 1:200 000 і більше);
- середньомасштабні (менше масштабу 1:200 000 до 1:1 000 000 включно);
- дрібномасштабні (менше масштабу 1:1 000 000).

Великомасштабні карти прийнято називати топографічними, середньомасштабні – оглядово-топографічними, дрібномасштабні – оглядовими.

За змістом плани поділяють на основні і спеціалізовані. Перші являють собою плани універсального призначення, розраховані на комплексне задоволення основних вимог багатьох галузей практичної діяльності. Спеціалізовані ж плани створюються з метою розв'язування конкретних задач в окремо взятій галузі. При цьому дозволяється нанесення додаткової інформації, підвищення вимог до точності зображення окремих елементів або навіть необов'язковості показу якоїсь частини змісту, передбаченого для основного топографічного плану.

2.2. Загальна схема оформлення карти показана на рис. 2.1.

1 - система координат;

2 - назва республіки й області, територія яких зображена на даному аркуші карти;

3 - назва відомства, що підготувало і видало карту;

- 4 - назва найбільш значного населеного пункту на зображеній території;
- 5 - гриф карти;
- 6 - номенклатура аркуша карти;
- 7 - рік видання карти;
- 8 - номенклатура сусідніх аркушів карти;
- 9 - внутрішня рамка;
- 10 - зовнішня рамка;
- 11 - рік і вид знімання, за даними якого укладена карта;
- 12 - виконавці;
- 13 - графік закладень;
- 14 - числовий масштаб;
- 15 - словесний масштаб;
- 16 - лінійний масштаб;
- 17 - висота перерізу рельєфу;
- 18 - система висот;
- 19 - схема взаємного розташування осьового, істинного та магнітного меридіанів;
- 20 - дані про схилення магнітної стрілки та зближення меридіанів.

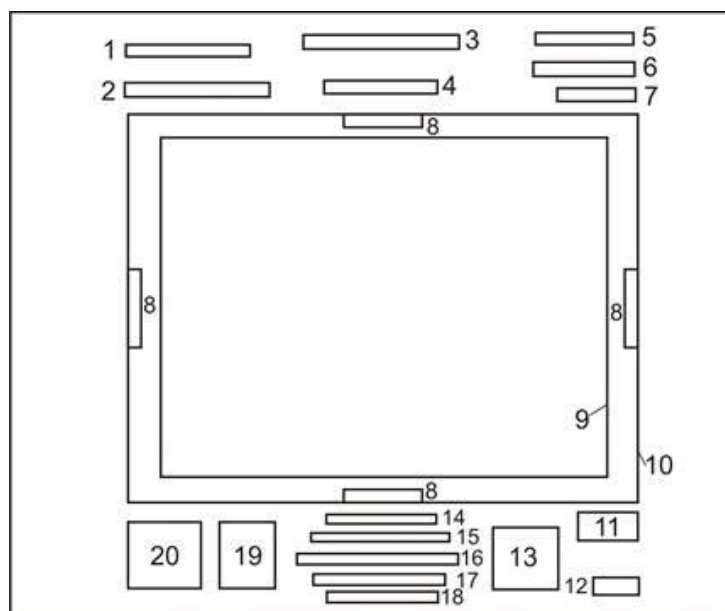


Рис. 2.1. Схема оформлення карти

До елементів карти відносяться її складові частини, що включають картографічне зображення, легенду, математичну основу, допоміжне оснащення та додаткові дані.

Головним елементом карти є картографічне зображення — сукупність відомостей про природні і соціально-економічні об'єкти та явища (рельєф,

гідрографія, ґрунтовий та рослинний покрив, населені пункти, шляхи сполучення та засоби зв'язку, кордони й межі, об'єкти економіки і культури та ін.).

Для зручності користування системою координат на аркушах топографічних карт наноситься координатна сітка, яку називають *кілометровою*, оскільки здебільшого лінії проводять через цілу кількість кілометрів. Вона являє собою систему взаємно перпендикулярних ліній, паралельних до осьового меридіана зони (вертикальні лінії) та екватора (горизонтальні лінії).

Поле карти обмежене внутрішньою рамкою. Лінії кілометрової сітки продовжені за поле карти, де біля них підписані значення x та y в кілометрах. Біля крайніх ліній кілометрової сітки підписують повні значення координат, наприклад, на рис. 2.2 – $x_{\text{пд}}=5840$ км, $y_{\text{сх}}=2634$ км. На проміжних лініях підписують скорочені значення координат – лише десятки та одиниці кілометрів.

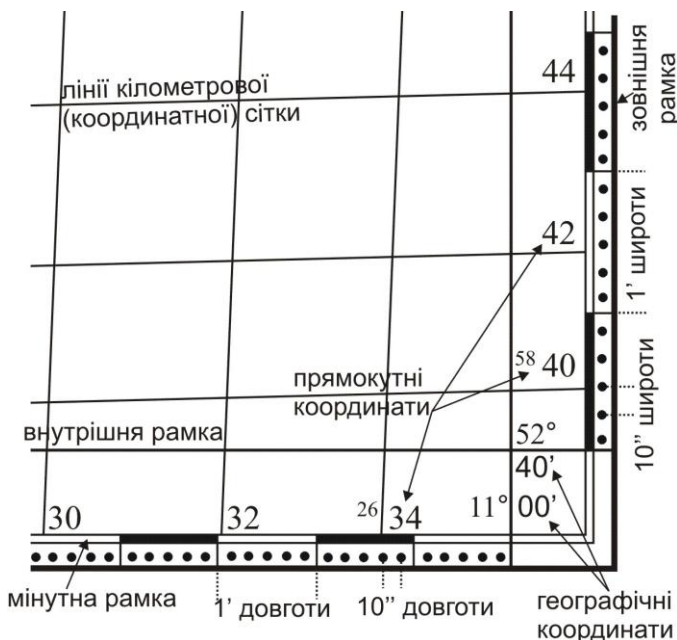


Рис. 2.2. Зображення на картах прямокутних та географічних координат

Лінії внутрішньої рамки карти паралельні до географічного меридіана (вертикальна лінія рамки) та паралелі (горизонтальна). В кутах рамки підписують географічні координати (на рис. 2.2 $\varphi_{\text{пд}}=52^{\circ}40'$, $\lambda_{\text{сх}}=11^{\circ}00'$). За полем рамки, на віддалі 7 мм від ліній внутрішньої рамки, побудована мінутна рамка, яка являє собою дві паралельні лінії, розділені на мінутні інтервали (за широтою і довготою). Кожен мінутний інтервал точками розбито на шість частин по десять секунд кожна (рис. 2.2).

У місцях виходу за поле карти доріг розміщують назву найближчого міста чи селища, куди веде дана дорога, із зазначенням відстані в кілометрах від рамки до цього населеного пункту.

Поряд з мінутною рамкою побудована зовнішня рамка – суцільна потовщена лінія. З кожного боку аркуша карти, по середині ліній зовнішньої рамки, в розриві, підписується номенклатура сусіднього аркуша.

2.3. Горизонтальні проекції ліній місцевості на картах і планах показують у зменшеному вигляді. Ступінь зменшення ліній місцевості при перенесенні їх на папір показують за допомогою масштабу. *Масштабом* називається відношення довжини відрізка на карті чи плані до його горизонтального прокладення на місцевості.

Масштаб виражають у числовій, словесній та лінійній формі:

- *числовий масштаб* – це дріб, у чисельнику якого – одиниця, а знаменнику – число, яке показує, у скільки разів зменшені горизонтальні прокладення ліній на місцевості при їх зображенні на карті чи плані. Для зручності обчислень числовий масштаб записують у вигляді $1:t$. *Наприклад*: 1:500, 1:1 000, 1:2 000, 1:50 000;
- *словесний масштаб* – на планах і картах числовий масштаб прийнято супроводжувати поясненням: скільком метрам на місцевості відповідає 1 см плану чи карти. *Наприклад*, при числовому масштабі 1:50 000, словесний матиме вигляд: в 1 сантиметрі 500 метрів. Такий вигляд масштабу називають ще *іменованим масштабом*;
- *лінійний масштаб* – це відрізок прямої, поділеної на рівні підписані проміжки, які означають відповідні горизонтальні відстані на місцевості. Такі рівні частини називають основами. Довжина основи може бути будь-якої величини, але найчастіше вона дорівнює 2 см. Ліву крайню основу, в свою чергу, поділяють на дрібніші частини для вимірювання горизонтальних відстаней на місцевості з більшою точністю.

На картах вказують числовий, словесний та лінійний масштаби (в такому порядку як показано на рис. 2.3), а на планах лише числовий та словесний масштаби.



Рис. 2.3. Масштаби:

а) числовий; б) словесний; в) лінійний

Серед наведених масштабів найвища практична точність у лінійного, вона становить 0,5 мм.

Для більш точних графічних робіт користуються поперечним масштабом, який дозволяє вимірювати відрізки з точністю до 0,1 мм (рис. 2.4).

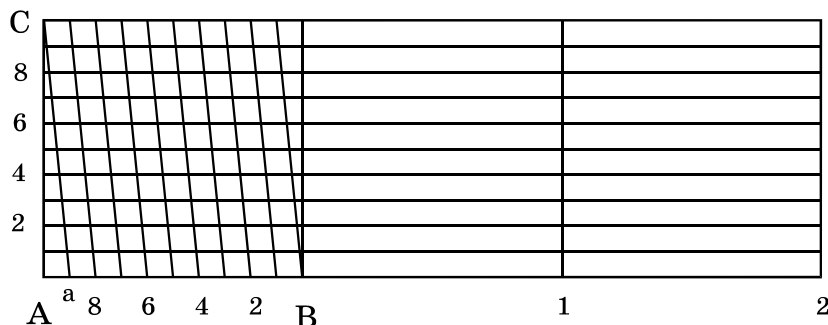


Рис. 2.4. Поперечний масштаб

Поперечний масштаб являє собою графік, оснований на пропорційному поділі відрізків. Для побудови масштабу на прямій відкладають кілька разів двосантиметровий відрізок, який називають основою масштабу. Через отримані точки проводять перпендикуляри. У свою чергу, через ці перпендикуляри на рівних проміжках проводять прямі, паралельні основі масштабу. Крайню ліву основу масштабу зверху і знизу ділять на 10 частин (по 2 см). Одержані точки сполучають похилими лініями (трансверсальми), як це зображено на рис. 2.4. Тоді десяті частки основи будуть відкладатися справа наліво по лінії ВА, а соті частки основи – знизу доверху по лінії АС. Поперечний масштаб гравіюють на спеціальних металічних лінійках, які називаються масштабними, і геодезичних транспортирах.

Фізіологічні можливості людського ока обмежені. На плані чи карті в найбільш сприятливому випадку можна зобразити лише такі горизонтальні проекції ліній місцевості, яким у даному масштабі відповідає відрізок 0,1 мм і більше. Величину горизонтальної проекції лінії на місцевості, яка відповідає 0,1 мм на карті (плані) заданого масштабу називають *граничною точністю масштабу*.

2.4. Топографічні карти та плани створюються на велику територію земної поверхні і складаються з багатьох аркушів. Розміри аркушів вибирають таким чином, щоб ними було зручно користуватися. Аркуші топографічних карт та планів різних масштабів об'єднані єдиною системою розграфлення і номенклатури.

Поділ за визначеними правилами карт та планів різних масштабів паралелями та меридіанами на окремі аркуші називається *розграфленням*, а система їх позначення (нумерації) за допомогою літер та цифр – *номенклатурою*.

Номенклатура аркуша карти позначається зверху карти над північною стороною рамки. Поряд із номенклатурою підписується назва найбільшого із показаних на карті населених пунктів. На кожному аркуші зазначається також номенклатура суміжних із ним аркушів, що полегшує їхній підбір при вивченні сусідніх територій чи склеюванні карти. Ці написи ставлять посередині сторін зовнішньої рамки аркуша.

В основі розграфлення і номенклатури карт усіх масштабів прийняті аркуші карти масштабу 1:1 000 000 яку називають міжнародною або мільйонною картою.

Для отримання аркуша міжнародної карти вся земна куля (рис. 2.5) поділяється на:

- пояси (ряди) паралелями через 4° по широті на північ та південь від лінії екватора. Вони (22 пояси) позначаються заголовними буквами латинського алфавіту A, B, C, D ... U, V для північної і південної півкулі;
- колони меридіанами через 6° по довготі від меридіана 180° із заходу на схід (проти руху годинникової стрілки). Вони позначаються арабськими цифрами від 1 до 60;
- навколо полюсів виділяються зони розміром 2° по широті.

Прийнято, що перед літерами, які позначають пояси північної півкулі, ставити букву N, а південної півкулі – S.

Оскільки шестиградусні зони відлічують від Грінвіцького меридіана, номери зон і колон різняться на 30. Так, якщо номер колони 1, то зони – 31, якщо колони 31, то зони – 1.

Отже, всю земну поверхню зображають на 2 640 аркушах карти масштабу 1:1 000 000 у вигляді трапецій розмірами 4° за широтою і 6° за довготою.

Положення аркуша карти масштабу 1:1 000 000 в загальній системі позначень, тобто його номенклатура, визначається літерним позначенням широтного поясу і номером колони. Спочатку пишуть літеру поясу (ряду), потім через тире номер колони. Наприклад, аркуш мільйонної карти з містом Києвом (рис. 2.6) позначають М-36 (або NM-36).

У разі переходу до аркушів карт наступних масштабів поділ аркуша карти масштабу 1:1 000 000 здійснюється у певній послідовності за визначеними правилами, суть яких відображено у табл. 2.1.

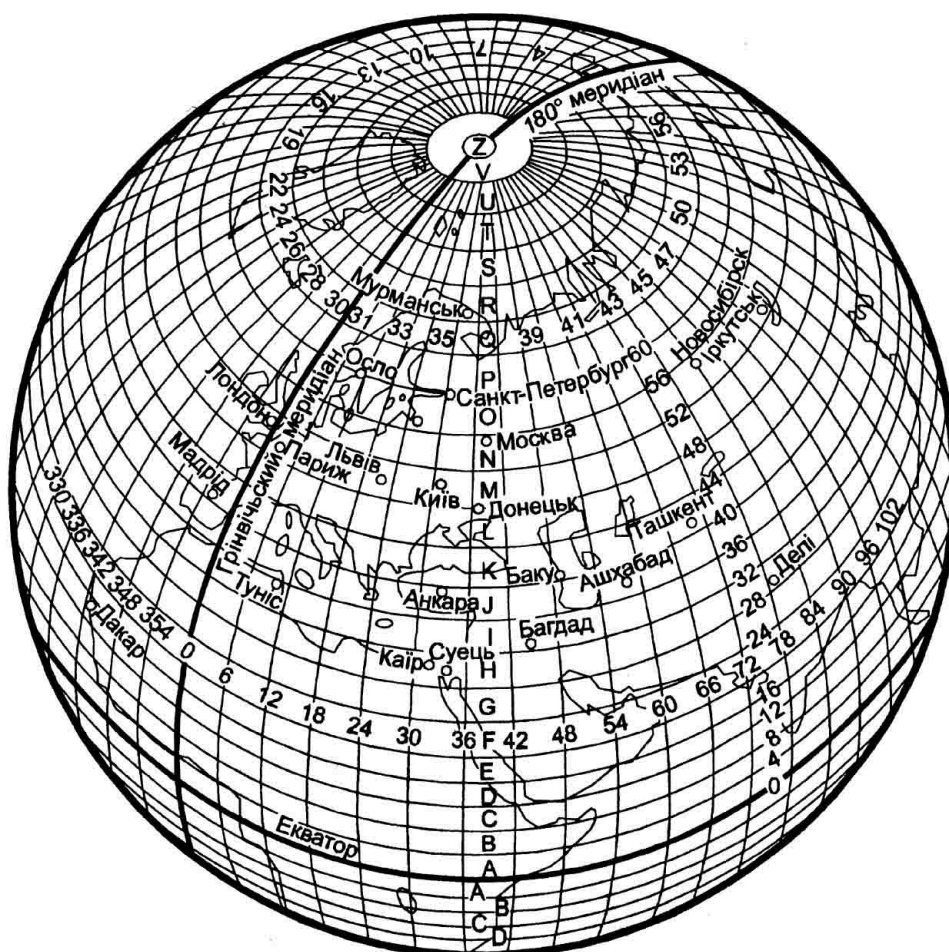


Рис. 2.5. Схема розграфлення поверхні земної кулі на окремі аркуші карти масштабу 1:1 000 000

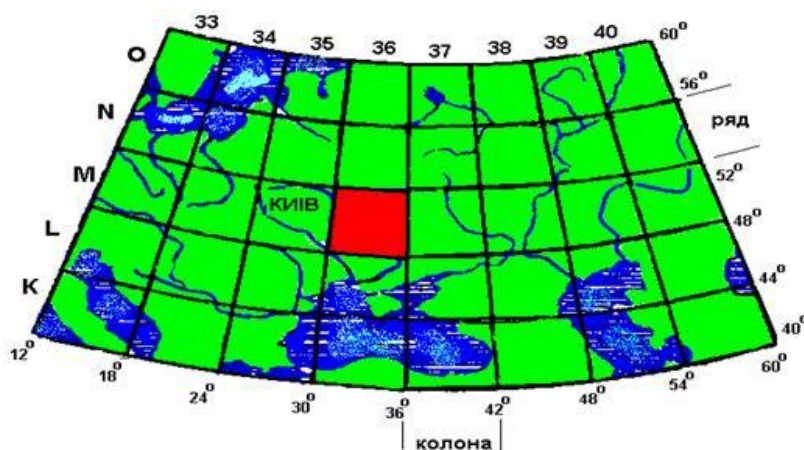


Рис. 2.6. Приклад розграфлення і номенклатури аркуша карти масштабу 1:1 000 000 (М-36)

Табл. 2.1. Розміри і номенклатура окремих аркушів топографічних карт.

Масштаб карти	Отриманий від ділення трапеції	На скільки частин ділиться трапеція карти 1:1000 000	Позначення листа	Приклад номенклатури	Розміри рамок		Площа території одного листа карти, км ²
					по широті	по довготі	
1:1 000 000		1	-	N-36	4°	6°	175104
1:500 000	1:1000 000 на 4 частини	4	A, B, B, Г	N-36-A	2°	3°	43776
1:200 000	1:1000 000 на 36 частини	36	I, II,...,XXXXVI	N-36-XV	40'	60'	4864
1:300 000	1:1000 000 на 9 частини	9	I, II, III,-IX	II-N-36			
1:100 000	1:1000 000 на 144 частини	144	1, 2,...,144	N-36-54	20'	30'	1216
1:50 000	1:100 000 на 4 частини	576	A, B, B, Г	N-36-54-Г	10'	15'	306
1:25 000	1:50 000 на 4 частини	2304	a, б, в, г	N-36-54-Г-a	5'	7'30''	76
1:10 000	1:25 000 на 4 частини	9216	1, 2, 3, 4	N-36-54-Г-a-2	2'30''	3'45''	19

2.5. Під *умовними знаками* розуміють графічні позначення, за допомогою яких на картах і планах показують місцезположення предметів та явищ, а також їх якісні і кількісні характеристики.

Умовні знаки є своєрідною азбукою, за допомогою якої можна легко читати карти або плани. Чим крупніший масштаб карти чи плану, тим більше можна зобразити на них місцевих предметів, тим більше потрібно умовних позначень. Із зменшенням масштабу карти чи плану кількість знаків також зменшується.

До сучасних топографічних знаків висуваються досить високі вимоги: графічна простота, наочність, достатня виразність і відмінність кожного від решти, характеристика основних властивостей відображуваного об'єкта, легке запам'ятовування тощо.

Вітчизняні умовні знаки стандартні, єдині і обов'язкові для всіх установ, організацій та підприємств, які виконують роботи зі створення та оновлення топографічних планів і карт. Умовні знаки, які використовуються на топографічних планах та картах різних масштабів, узгоджені між собою за накресленням і кольором, а розрізняються лише за розмірами, що суттєво полегшує їх використання.

Із точки зору передачі планових геометричних особливостей об'єктів умовні знаки поділяють *на площові (контурні), позамасштабні та лінійні* (рис. 2.7).

Об'єкти, площа яких виражається в масштабі карти (плану), відображаються площовими (контурними) умовними знаками. Раніше їх так і називали – “масштабні”. Вони складаються з позначення контура чи межі, яку

займає об'єкт (суцільною лінією, пунктиром або точками), і його заповнення (зафарбуванням, сіткою, написом або значками). Контур передається із збереженням подібності з дійсними обрисами місцезнаходження та орієнтування об'єкта, а заповнення служить для його якісної характеристики (наприклад, луки, сади, виноградники, рілля, чагарники, ліси, болота, водосховища тощо).

Об'єкти, розміри яких не витримуються в масштабі карти (плану), позначаються позамасштабними умовними знаками. Вони дозволяють відображувати місцезнаходження відповідних об'єктів та їх різні характеристики. Місцезнаходження об'єктів при цьому позначається певною (головною) точкою умовного знака, якісні відмінності передаються його формою, а кількісні – розмірами. Позамасштабними знаками показуються геодезичні пункти, заводські труби, колодязі, джерела, бензоколонки, окремі дерева, вітряки, маяки та ін.

Для відображення положення об'єктів великої протяжності, але малої ширини, довжина яких витримується в масштабі карти (плану), а ширина, переважно, не витримується, використовують лінійні умовні знаки. Вони передають точне місцезнаходження об'єктів на місцевості по осі їх найбільшої протяжності, але, як правило, перебільшують їх ширину. До таких об'єктів відносять залізні, автомобільні та ґрунтові дороги, лінії електропередач, трубопроводи, огорожі, кордони, показані однією лінією річки і т.п.


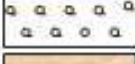
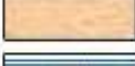
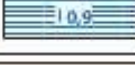







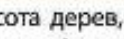
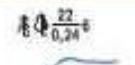


Масштабні	Позамасштабні	Лінійні
 Хвойні ліси  Рідколісся  Піски рівні  Болота непрохідні	 Промислові підприємства з трубами  Вітряки  Церкви  Склади пального	 Лінії зв'язку  Залізниця: одноколіїні  двоколіїні  Постійна берегова лінія морів та озер
Пояснювальні		
 Характеристика деревостою (22 — висота дерев, 0,24 — середня товщина стовбурів, 6 — середня відстань між деревами в метрах)  Броди (0,5 — глибина, 12 — довжина в метрах, П — характер ґрунту дна, 0,1 — швидкість течії в м/с)  Характеристика річок та каналів (137 — ширина, 6,5 — глибина в метрах, П — характер ґрунту дна)		

Рис. 2.7. Приклади умовних знаків топографічних карт

Для додаткової характеристики об'єктів і передачі їхніх різновидностей площові, позамасштабні і лінійні умовні знаки використовуються у поєднанні

з пояснювальними написами (повними або скороченими), які дають цінну допоміжну інформацію. Це може бути швидкість течії, ширина і глибина водотоків, висота ферм і напруга ліній електропередач, вантажопідйомність мостів, глибина карстових вирв, характеристика лісових деревостоїв тощо.

2.6. Земна поверхня не є рівною. Ділянки рівної місцевості навіть невеликих розмірів неможливо вважати плоскими, оскільки на них зустрічаються підвищення та поглиблення різної величини. Ці нерівності необхідно враховувати при проектуванні й будівництві споруд, доріг, інженерних мереж та інше.

Рельєф — сукупність різноманітних за формою й розмірами нерівностей земної поверхні. Рельєф місцевості не є постійним. Під впливом сил, що діють всередині Землі, коливань температури, дії води, вітру й рослин та антропогенної діяльності з часом рельєф міняється. Тому заходи, що направлені на раціональне використання земної території, пов'язані з необхідністю періодичного вивчення рельєфу й відображенню його на картах, планах та профілях.

Зображення рельєфу порівняно з іншими об'єктами має свої особливості і труднощі, пов'язані, передусім, із необхідністю передачі його тривимірності (ширини, довжини і висоти). Відомо багато способів зображення рельєфу, але ні один з них не у змозі задовольнити усі вимоги, які висувуються до його показу.

На сучасних вітчизняних топографічних картах і планах рельєф зображається, в основному, трьома різними, але сумісно використовуваними способами: *ізолініями*, *умовними знаками* і *числовими відмітками* характерних точок. Природні форми рельєфу при цьому показують коричневим кольором, а техногенного походження — чорним.

Під *ізолініями* (від грецького *ісос*, що означає *рівний, однаковий*), розуміють плавні криві, проведені на карті чи плані через точки з однаковими кількісними значеннями. Такі лінії для зображення рельєфу суші називаються *ізогіпсами* або *горизонталями*, а для зображення рельєфу морського дна — *ізобатами*.

Отже, *горизонталь* — це крива лінія, яка з'єднує точки з однаковими висотами. *Основні властивості горизонталей* наступні:

- горизонталі є кривими і замкненими лініями;
- горизонталі ніколи не перетинаються;
- чим ближча віддаль між горизонталями, тим крутіший схил місцевості.

Побудову горизонталей на карті виконують за висотами характерних точок рельєфу місцевості. Для того, щоб зобразити горизонталями рельєф ділянки місцевості, потрібно перетнути його декількома горизонтальними площинами, розташованими на однаковій відстані по висоті одна від одної

(рис. 2.8). Ця відстань, між сусідніми січними площинами по висоті, називається *висотою перерізу рельєфу* і позначається літерою *h*. Висоту перерізу рельєфу підписують на картах під лінійним масштабом. Віддаль на плані між сусідніми горизонталями називається *закладенням* горизонталей і позначається літерою *d*. Для визначення напрямку схилу за горизонталями на них показують *бергштрихи* – короткі штрихи, перпендикулярні до горизонталей і направлені за схилом вниз.

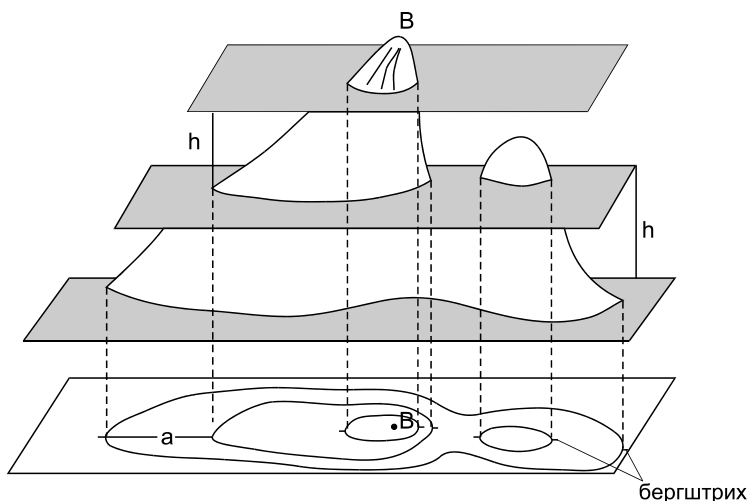


Рис. 2.8. Принцип побудови горизонталей

Основними називаються такі горизонталі, які віддалені одна від одної на прийнятну висоту перерізу рельєфу. Для більшої наочності та кращого читання загального рисунка рельєфу, а також полегшення визначення висот горизонталей, кожную четверту (при $h = 0,5$ і $2,5$ м) або п'яту основну горизонталь (при $h = 1, 2, 5, 10$ м) (залежно від висоти перерізу) зображають потовщеною (рис. 2.9).

У розривах горизонталей розміщують їх підписи, які необхідно орієнтувати основою цифр по схилу, причому бажано до південної або східної рамки карти чи плану. Підпис показує висоту і виконує функцію бергштриха.

Для зображення рівнинного рельєфу основні і потовщені горизонталі доповнюють *додатковими* і *допоміжними*. Додаткові проводять через половину основного перерізу рельєфу (обов'язково на ділянках, де відстань між основними горизонталями перевищує 2,5 см), а допоміжні – на довільній висоті (для показу мікрорельєфу).

Горизонталі проводять через зображення всіх топографічних об'єктів, крім будинків, водойм, показаних двома лініями річок, каналів, доріг, вулиць, а також ярів і сухих русел шириною по дну менше ніж 3 мм та обривів, форм рельєфу штучного походження (діючих кар'єрів, виїмок, насипів, курганів,

валів корчування тощо). Горизонталі повинні бути необхідної товщини, рівними і чіткими.

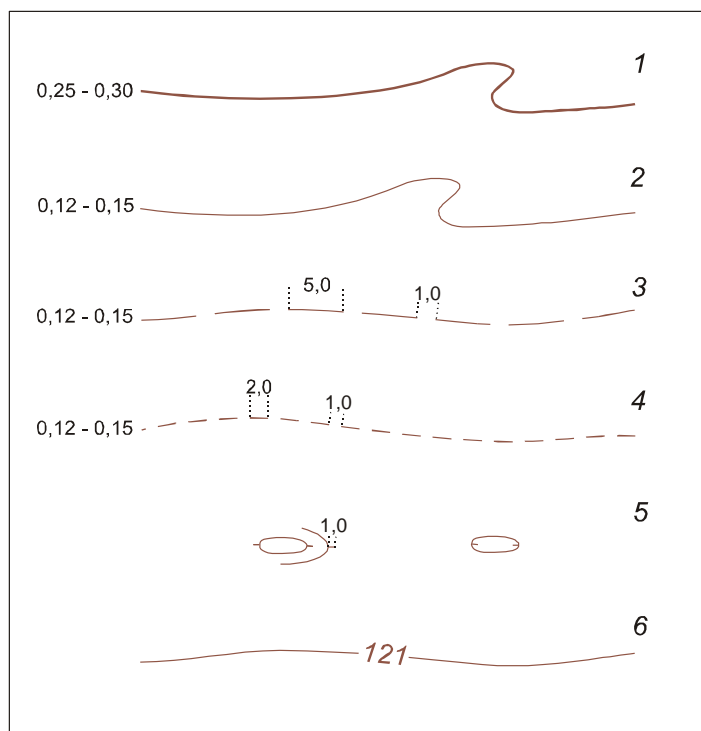


Рис. 2.9. Зображення горизонталей для масштабів 1:5 00 – 1:5 000:
1 – горизонталі потовщені; 2 – горизонталі основні; 3 – горизонталі додаткові;
4 – горизонталі допоміжні; 5 – показники напрямку схилів (бергштрихи); 6 –
підписи горизонталей

Деякі форми рельєфу, як от, яри, обриви, промоїни і т. п., не можна виразити горизонталями, тому їх прийнято зображати умовними знаками (рис. 2.10).

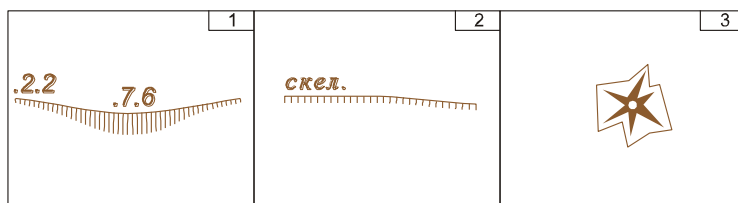


Рис. 2.10. Умовні позначення рельєфу для масштабів 1:5 00 – 1:5 000:
1 – обриви земляні; 2 – обриви скелясті; 3 – скелі-останці

Числові відмітки дають відомості про абсолютні висоти окремих точок місцевості, чого не можуть передати ні горизонталі, ні умовні позначення

(рис. 2.11). Правильне розміщення висотних позначок полегшує читання рельєфу. Всі відмітки прийнято давати з округленням до десятих долей метра і розміщувати, як правило, справа від точок.

1) $\overset{0,6}{\bullet}$ 342.8 2) $\overset{0,6}{\bullet}$ - 20.7

Рис. 2.11. Приклади числових відміток для масштабів 1:500 – 1:5000:
1) – вище нуля Кронштадтського футштока; 2) – нижче нуля Кронштадтського футштока

Тема 3.

Розв'язування задач за топографічними картами.

- 3.1 Визначення за картою та нанесення на карту точки за прямокутними координатами.
- 3.2. Визначення відстаней між точками за відомими прямокутними координатами.
- 3.3. Визначення за картою та нанесення на карту точки за географічними координатами.
- 3.4. Визначення висот точок за горизонталями.
- 3.5. Визначення крутизни схилів та кутів нахилу за горизонталями.
- 3.6 Визначення за горизонталями довжини похилої на місцевості лінії.
- 3.7. Побудова профілю лінії за заданим напрямком.

3.1. Положення точки в системі прямокутних координат визначається за допомогою кілометрової сітки. На топографічних картах кілометрові лінії наносять через певну кількість кілометрів у масштабах: 1:10 000 через 10 см (1 км), 1:25 000 – 4 см (1 км), 1:50 000 – 2 см (1км), 1:100 000 – 2см (2км), 1:200 000 – 2см (4км).

Значення ліній кілометрової сітки вказуються між внутрішньою і мінутною рамками. Абсциси горизонтальних ліній, паралельних екватору, виписані вздовж бокових рамок, ординати вертикальних ліній, паралельних осьовому меридіана – вздовж верхньої і нижньої рамок. Координати ліній біля кутів рамки підписують повністю, а решти – тільки двома останніми цифрами (рис. 3.1).

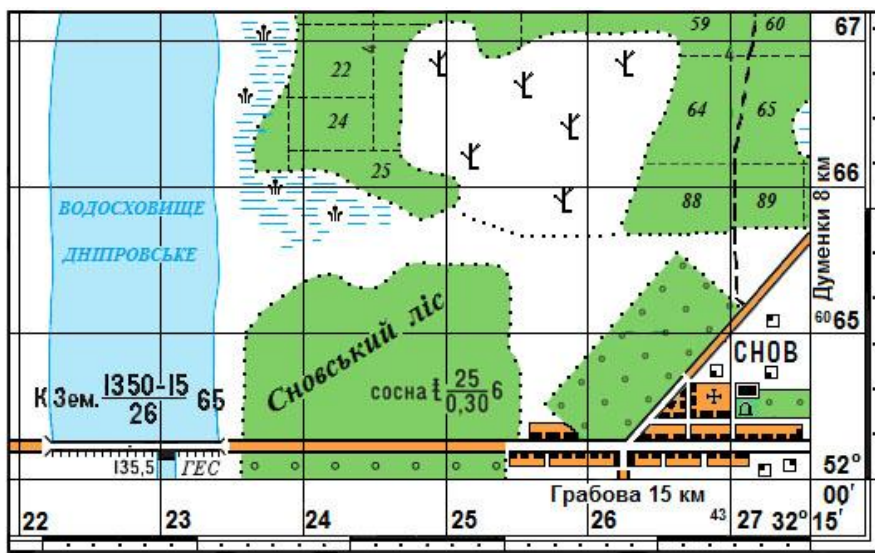


Рис. 3.1. Частина топографічної карти із сіткою координат

Для визначення прямокутних координат точки B на карті (рис. 3.2) з точки B опускають перпендикуляри на лінії координатної (кілометрової) сітки. Довжини перпендикулярів Δx та Δy вимірюють з точністю масштабу карти за допомогою лінійки поперечного масштабу. Повні координати точки B визначають за формулами:

$$\begin{aligned}x_B &= x_0^B + \Delta x; \\ y_B &= y_0^B + \Delta y,\end{aligned}\tag{3.1}$$

де x_0^B, y_0^B – координати південно-західної вершини квадрата, в якому знаходиться точка B ;

$\Delta x, \Delta y$ – віддалі від точки до відповідно південної та західної сторін квадрату в метрах.

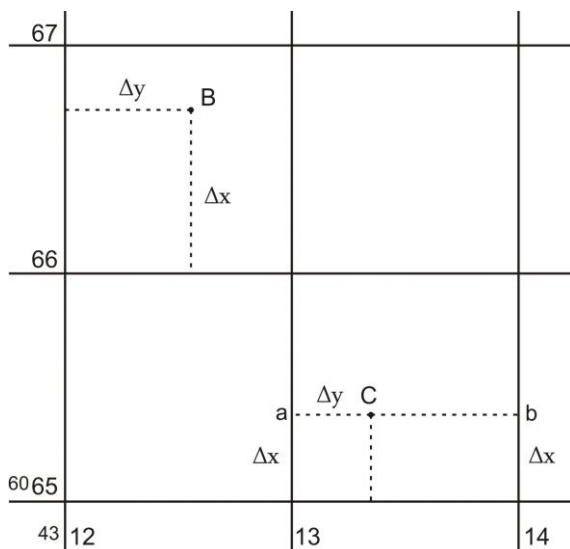


Рис. 3.2. Визначення прямокутних координат точок та нанесення точок за прямокутними координатами за топографічною картою масштабу 1:10 000

Наприклад, на рис. 3.2:

- координати південно-західної вершини квадрата, в якому знаходиться задана точка B : $x_0^B = 6066000$ м; $y_0^B = 4312000$ м;
- прирости Δx та Δy визначені за допомогою лінійки поперечного масштабу: $\Delta x = 3,71$ осн; $\Delta y = 2,72$ осн;
- прирости Δx та Δy на місцевості:
 $\Delta x = 3,71 \times 2 \times 100 = 742$ м; $\Delta y = 2,72 \times 2 \times 100 = 544$ м.
- повні координати, згідно формули (3.1), дорівнюють:
 $x_B = 6066742$ м; $y_B = 4312544$ м.

Нанесення точки на карту за її прямокутними координатами є

оберненою задачею відносно попередньої.

Для того, щоб побудувати точку C за її прямокутними координатами, необхідно знайти квадрат, в якому знаходиться точка C , виділити початкові координати x_0^C і y_0^C (ці значення мають бути кратними величині, через яку проведені лінії кілометрової сітки), а також прирости Δx та Δy . Визначивши Δx та Δy у відрізках масштабу карти, наносять їх на координатну сітку і одержують точку C .

Наприклад, нехай потрібно нанести на карту у масштабі 1:10 000 точку C з координатами $x_C=6065427$ м; $y_C=4313226$ м.

В масштабі 1:10 000 лінії кілометрової сітки проведені через 1000 м. Шукаємо координату x_0^C південно-західної вершини квадрата, в якому знаходиться точка C . Вона має бути кратною 1000 м і меншою від x_C . Отже в нашому випадку $x_0^C=6065000$ м, аналогічно визначаємо $y_0^C=4313000$ м.

Далі знаходимо величини Δx та Δy за формулами:

$$\begin{aligned}\Delta x &= x_C - x_0^C; \\ \Delta y &= y_C - y_0^C.\end{aligned}\tag{3.2}$$

У нашому прикладі $\Delta x=427$ м і $\Delta y=226$ м. Після чого перетворюємо величини Δx та Δy у відрізки, які відповідають масштабу карти: $\Delta x=427/(2 \times 100)=2,135$ осн., $\Delta y=226/(2 \times 100)=1,13$ осн. Виставляємо за допомогою лінійки поперечного масштабу розхил вимірника на відлік $\Delta x=2,135$ осн і відкладаємо цю величину по вертикалі вздовж лівої і правої сторони квадрата, в якому знаходиться потрібна точка.

В результаті отримуємо мітки „а” та „b” (рис. 3.2), сполучаємо їх лінією і в цьому напрямку від мітки „а” відкладаємо $\Delta y=1,13$ осн. Отримана точка і буде точкою C з координатами $x_C=6065427$ м; $y_C=4313226$ м.

3.2. Якщо відомі прямокутні координати двох точок, то відстань між ними можна визначити аналітично. Коли такими точками, наприклад, є точки A та B , то у даному випадку має місце формула:

$$L_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}.\tag{3.3}$$

3.3. Щоб визначити географічні координати заданої на карті точки M , за допомогою лінійки і трикутника проводимо паралель і меридіан через задану точку M до перетину з найближчими сторонами зовнішньої рамки карти (рис. 3.3).

Побудова точки на карті за її географічними координатами є оберненою задачею відносно розглянутої вище і виконується, зрозуміло, у зворотному порядку.

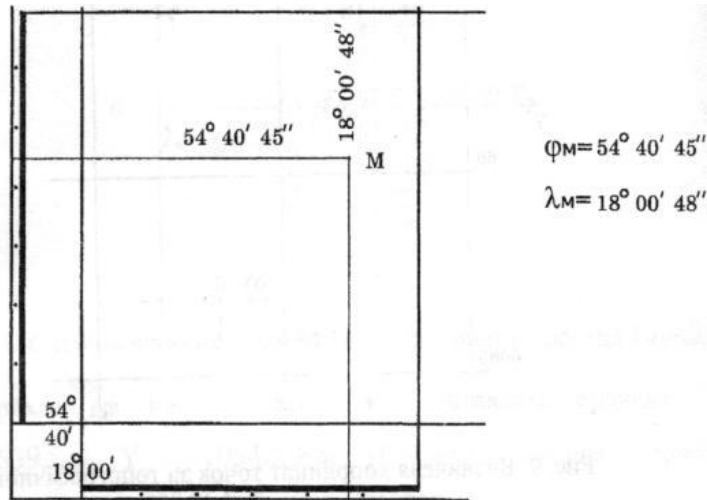


Рис. 3.3. Визначення географічних координат точки

3.4. Під час роботи з топографічними картами може виникати необхідність у визначенні висот точок. Для цього можна використати проведені на карті горизонталі. При розв'язуванні такої задачі можуть мати місце випадки (рис. 3.4.):

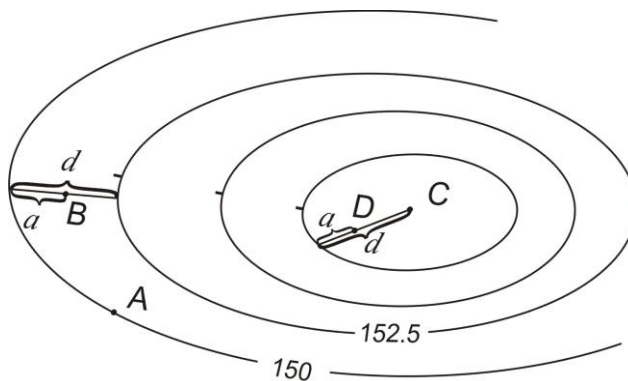


Рис. 3.4. Визначення висот точок за горизонталями

1) точка А знаходиться на горизонталі. Тоді висота точки А буде дорівнювати висоті горизонталі. У нашому випадку $H_A = 150,00$ м.

2) точка В знаходиться між горизонталями. Тоді висота точки В визначається за формулою:

$$H_B = H_0 + \frac{a}{d} h, \quad (3.4)$$

де H_0 – висота меншої (молодшої) горизонталі, м;

a – відстань по нормалі від меншої горизонталі до точки В, мм;

d – закладення горизонталей, мм;

h – висота перерізу рельєфу, м.

У даному випадку:

$$H_B = 150,00 + \frac{5}{10} 2,5 = 151,25 \text{ м}$$

3) точка C знаходиться всередині замкнутої горизонталі або між горизонталями з однаковими висотами. Тоді висота точки C визначається за формулою:

$$H_C = H_r \pm \frac{1}{2} h, \quad (3.5)$$

де H_r – висота горизонталі, м

h – висота перерізу рельєфу, м.

Знак «+» ставиться, якщо точка знаходиться всередині підвищення, а знак «-» – якщо всередині пониження.

У нашому випадку:

$$H_C = 157,50 + \frac{1}{2} 2,5 = 158,75 \text{ м}$$

4) точка D знаходиться між відомою відміткою і горизонталлю. Якщо брати до уваги рис. 3.4 і формулу (3.4), то справедливим буде:

$$H_D = H_0 + \frac{a}{d} (H_C - H_0) = 157,50 + \frac{4}{9} (158,75 - 157,50) = 158,06 \text{ м}.$$

У даному випадку замість висоти перерізу рельєфу h потрібно підставити перевищення між точкою C і горизонталлю.

3.5. Крутизна схилу – це ступінь пониження або підвищення місцевості. Крутизна схилу характеризується його ухилом, який визначають за формулою:

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}, \quad (3.6)$$

де i – ухил;

ν – кут нахилу;

h – перевищення між точками, м;

d – закладення (відстань між точками на місцевості), м.

Перетнемо схил гори горизонтальними площинами при висоті перетину h (рис. 3.5). На ділянці BC схил має кут нахилу ν_1 , на ділянці CD – кут нахилу ν_2 . Відстань d_1 – це горизонтальне закладення лінії схилу BC (закладення). Для визначення ухилу між точками B і C , які знаходяться на сусідніх горизонталях, визначають закладення d_1 на топографічній карті і перевищення h_{BC} між точками. Використовуючи формулу (3.6), знаходять ухил i_{BC} . Аналогічно

визначають ухил i_{CD} – за закладенням d_2 та перевищенням h_{CD} між точками С і D.

Наприклад, на наведеному рис. 3.5 перевищення $h_{BC} = h_{CD} = 2,5$ м, закладення $d_1 = 1,8$ см = 36 м (в масштабі 1:2000), $d_2 = 0,9$ см = 18 м. Тоді ухили, згідно формули (3.6) рівні $i_{BC} = 2,5\text{ м}/36\text{ м} = 0,0694$, $i_{CD} = 2,5\text{ м}/18\text{ м} = 0,1389$. Ухили отримані за формулою (3.6) виражаються в *тисячних частках*.

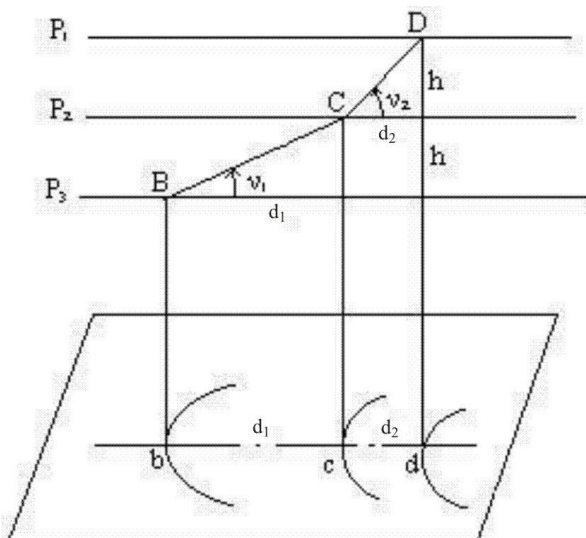


Рис. 3.5. Визначення ухилу

Крім того ухили ліній можна виражати у *відсотках (%)* або у *проміле (‰)*. Для прикладу: $i_{CD} = 0,1389 = 13,89\% = 138,9\text{‰}$. Для отримання ухилу у відсотках результат обчислений за формулою (3.6) домножується на 100, а у проміле – домножується на 1000.

У випадку, коли необхідно визначити ухил за лінією, крайні точки якої не лежать на горизонталях, спочатку необхідно визначити висоти цих точок. Наприклад, висоти точок В та С становлять відповідно 151,25 м та 158,75 м. Відстань між точками $d_{BC} = 3,8$ см, що в масштабі 1:2000 становить 76 м. Тоді ухил:

$$i_{BC} = \frac{H_C - H_B}{d_{BC}} = \frac{158,75 - 151,25}{76} = 0,0987.$$

З практичною метою, при потребі визначення кутів нахилу чи ухилів відрізків лінії, користуються уже спеціально побудованим для цього графіком, який наведено під нижньою лінією рамки карти.

Для визначення, наприклад, кутів нахилу відрізків якоїсь лінії на карті, беруть розхилом ніжок вимірника відстань між двома сусідніми горизонталями по цій лінії і прикладають до графіка (рис. 3.6). Нижню ніжку вимірника переміщують вздовж осі v до тих пір, поки верхня ніжка не досягне

кривої. По положенню ніжки вимірника на осі v знаходять кут нахилу. На рис. 3.6 $v = 2^{\circ}35'$.

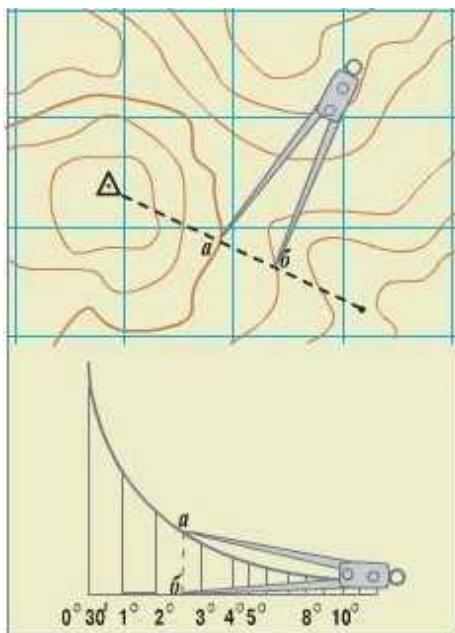


Рис. 3.6. Визначення кутів нахилу за масштабом закладень

Масштабом закладень користуються лише коли необхідно визначити кути нахилу чи ухили між точками з перевищенням рівним висоті перерізу рельєфу (тобто між точками, які знаходяться на сусідніх горизонталях). Коли ж лінія якогось відрізка не лежить на горизонталі, то його продовжують до перетину з горизонталлю і таким же чином визначають кут нахилу чи ухил.

3.6. Довжину похилої лінії можна визначити через її горизонтальне прокладення і кут нахилу.

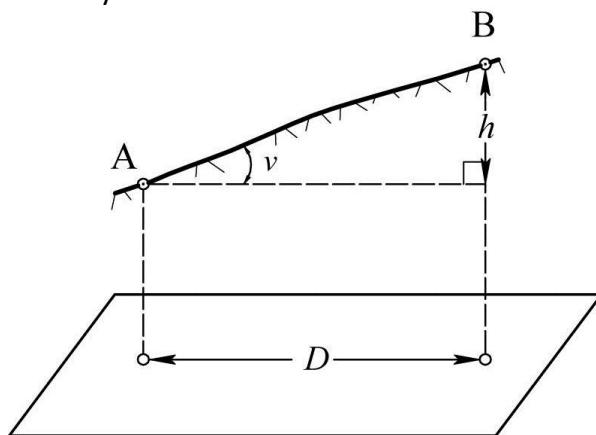


Рис. 3.7. Визначення довжини похилої лінії

Для прикладу, у нашому випадку (рис. 3.7):

$$AB = D / \cos \nu \quad (3.7)$$

Величину AB вимірюють за планом чи картою, а кут нахилу визначають за масштабом закладень.

У випадку, якщо ж лінія немає постійного кута нахилу, то її ділять на частини так, щоб кожний відрізок мав незмінний кут нахилу і знаходять загальну довжину похилої лінії як суму її складових.

3.7. Профіль лінії – це зменшене зображення вертикального розрізу місцевості за заданим напрямом.

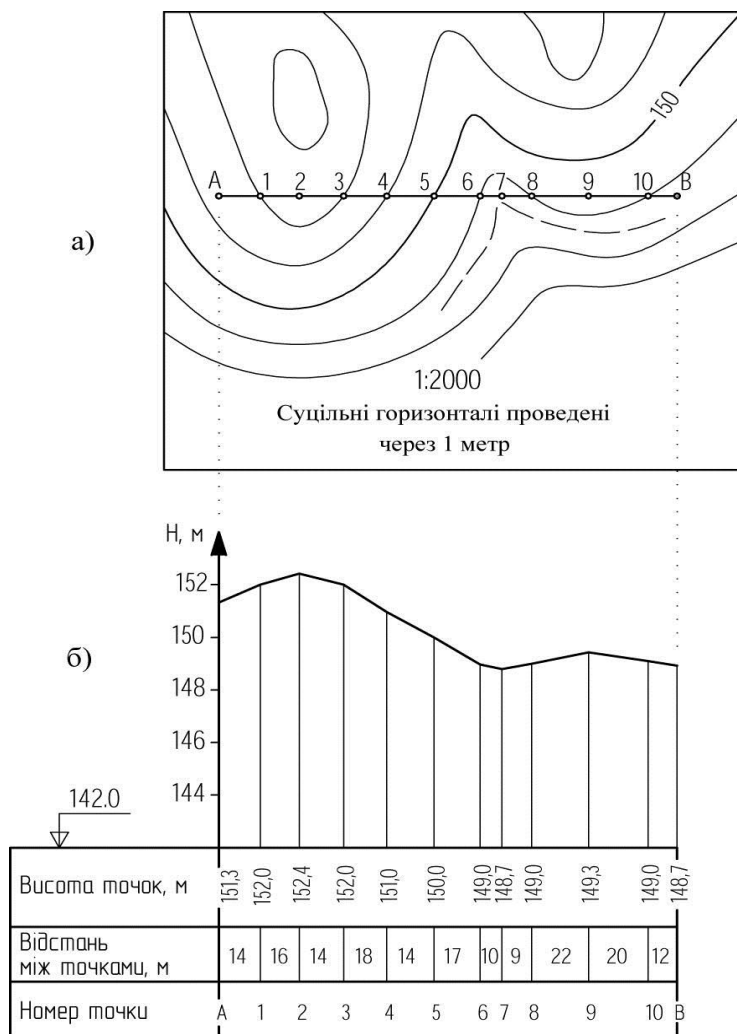


Рис. 3.8. Побудова профілю лінії

Для наочного зображення рельєфу і забезпечення компактності рисунка, його прийнято будувати у двох масштабах – горизонтальному і вертикальному. Горизонтальний масштаб, зазвичай, приймається рівним масштабу карти чи плану, а вертикальний – у 10 разів крупнішим.

Побудову профілю можна виконувати наступним чином (рис. 3.8). На карті або плані проводять лінію *AB*, вздовж якої кладуть смужку паперу і переносять на його край короткими рисками початок і кінець лінії, точки перетину її горизонталями і характерні точки рельєфу. Визначають їх висоти. Край смужки прикладають до лінії основи профілю на кресленні і відмічають отримані точки. Від цих точок проводять перпендикуляри, на яких у вибраному вертикальному масштабі відкладають відомі висоти. Відлік висот ведуть від лінії умовного горизонту. Верхні кінці перпендикулярів з'єднують прямими лініями і отримують профіль викресленої на карті чи плані лінії. При цьому виконують заповнення граф висот точок, відстаней між точками, номерів точок відповідними значеннями.

У показаному на рис. 3.8 випадку профіль лінії *AB* побудовано у двох масштабах: горизонтальному – 1:2 000 і вертикальному – 1:200.

Тема 4.

Орієнтування ліній.

- 4.1. Загальні відомості про орієнтування ліній.
- 4.2. Визначення істинних та магнітних азимутів.
- 4.3. Визначення дирекційних кутів і румбів заданих напрямків.
- 4.4. Передача орієнтирних напрямків через кути повороту.

4.1. Практично усі роботи, які пов'язані з обстеженням територій, вишукуваннями, проектуванням та будівництвом різноманітних об'єктів, вимагають їх орієнтування відносно сторін світу та існуючих локацій на місцевості.

Орієнтування виконують відносно початкових орієнтирних напрямків. Початковими орієнтирними напрямками прийняті: *істинний* (називають ще *дійсним, географічним*), *магнітний та осьовий меридіани*. Таким чином, через будь-яку точку на місцевості можна провести істинний, магнітний та осьовий меридіани або лінію паралельну осьовому меридіану. Розташування ж усіх меридіанів відносно один одного може бути різним, тому що воно залежить від місця розташування самої точки на земній поверхні.

Орієнтувати лінію – означає визначити горизонтальний кут між початковим орієнтирним напрямком і даною лінією. Оскільки існує три початкових напрямки, то горизонтальні кути визначені відповідно них мають свої назви. Все залежить від того, відносно якого початкового напрямку виконують орієнтування.

Кутами орієнтування є *істинні азимуту, магнітні азимуту, дирекційні кути, румби*.

4.2. *Істинним (географічним) азимутом* називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку істинного (географічного) меридіана за годинниковою стрілкою. Істинний азимут позначається літерою „А” і має значення від 0° до 360° .

Істинний азимут можна виміряти безпосередньо на карті. Для цього геодезичний транспортір суміщають з північним напрямком карти (паралельно вертикальній лінії внутрішньої рамки) і за рухом годинникової стрілки відраховують горизонтальний кут (рис. 4.1).

Прийнято розрізняти прямий і зворотній напрямки ліній. Істинний азимут A_{12} лінії АВ називається *прямим*, а істинний азимут A_{21} для тієї ж лінії АВ називається *зворотнім*. Прямі і зворотні кути відрізняються між собою на $\pm 180^\circ$ (рис. 4.1).

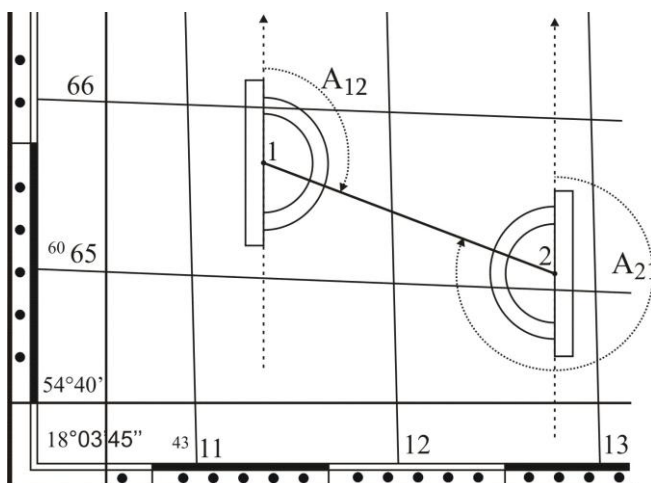


Рис. 4.1. Вимірювання істинного азимута на карті транспортом

Магнітним азимутом називається горизонтальний кут, який відраховується від північного напрямку магнітного меридіана за годинниковою стрілкою. Магнітний азимут позначається літерою „ A_m ” і має значення від 0° до 360° .

Магнітний азимут графічно визначити не можна, але його можна знайти аналітично як:

$$A_m = A \mp \delta, \quad (4.1)$$

де A_m – магнітний азимут;

A – істинний азимут;

δ – схилення магнітної стрілки.

Знак «-» ставиться, коли схилення магнітної стрілки східне; знак «+» – коли схилення магнітної стрілки західне.

Схилення на 1990 р. східне $6^\circ 12'$. Середнє зближення меридіанів західне $2^\circ 22'$. При прикладанні бусолі (компасу) до вертикальних ліній координатної сітки середнє відхилення магнітної стрілки східне $8^\circ 34'$. Річна зміна схилення східна $0^\circ 02'$. Поправка в дирекційний кут при переході до магнітного азимуту мінус $8^\circ 34'$.

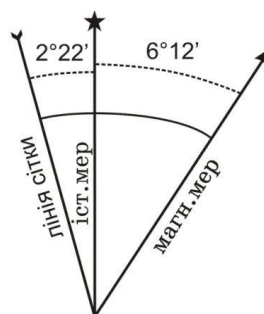


Рис. 4.2. Напис на карті про величини схилення та зближення меридіанів

Значення схилення магнітної стрілки і середнє зближення меридіанів на зображену на топографічній карті територію, наводяться у вигляді спеціальних написів, що подаються зліва під нижньою лінією рамки карти внизу кожного листа карти, ліворуч за рамкою карти (рис. 4.2).

Слід мати на увазі, що величина магнітного схилення не є постійною, тому у написі вказується дата, на яку наводиться схилення (1 речення) та річна зміна схилення (4 речення).

4.3. *Дирекційним кутом* називається горизонтальний кут, який відраховується за годинниковою стрілкою від північного напрямку осьового меридіана або лінії паралельної йому, до заданого напрямку. Дирекційний кут позначається грецькою літерою α (альфа) з відповідними індексами – α_{AB} і змінюється в межах від 0° до 360° .

Дирекційний кут можна визначити графічно на карті чи плані. Для визначення дирекційного кута напрямку 1-2 (рис. 4.3) з'єднують точки прямою лінією. В точці 1 проводять лінію паралельну вертикальній лінії координатної сітки, прикладають нуль транспортира в точку 1 і сумістивши його нульовий діаметр з вертикальною лінією сітки, відраховують α_{12} .

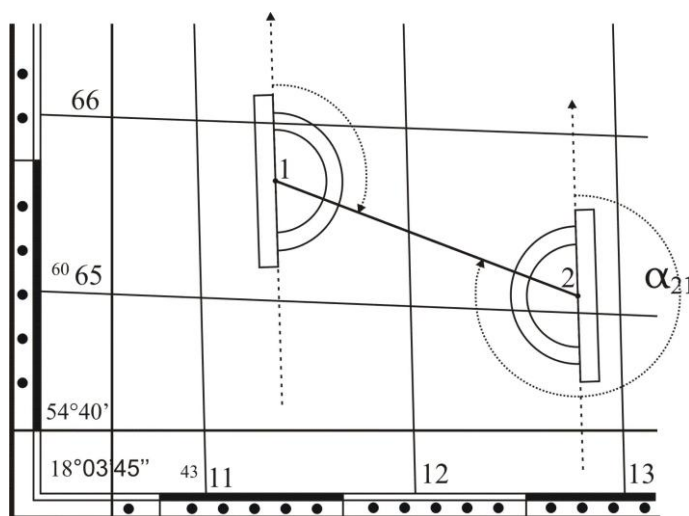


Рис. 4.3. Вимірювання дирекційного кута на карті транспортиром

Зворотній дирекційний кут α_{21} , відповідно, визначають в точці 2. Зрозуміло, що дирекційні кути α_{12} і α_{21} відрізняються між собою на $\pm 180^\circ$.

Як зазначалося раніше, в різних точках земної поверхні меридіани не паралельні між собою.

Відомо, що між істинними азимутами A і дирекційними кутами α існує зв'язок:

$$A = \alpha \pm \gamma \quad (4.2)$$

де γ – зближення меридіанів, ($+\gamma$ – східне, $-\gamma$ – західне).

Середнє зближення меридіанів вказується зліва під нижньою лінією рамки топографічної карти (рис. 4.2, 2 речення).

Румбом називається гострий кут, який відраховується від ближнього (північного чи південного) напрямку меридіана до напрямку на задану точку. Румб позначається латинською буквою r з індексом початку та кінця напрямку, може мати значення від 0° до 90° , обов'язково перед кутовою величиною вказується відповідна назва румба, яка залежить від чверті. Наприклад, $r_{AB} = \text{ПнСх}: 47^\circ 30'$.

Румби можна обчислювати за дирекційними кутами (рис. 4.4), для чого використовують формули, приведені в табл. 4.1.

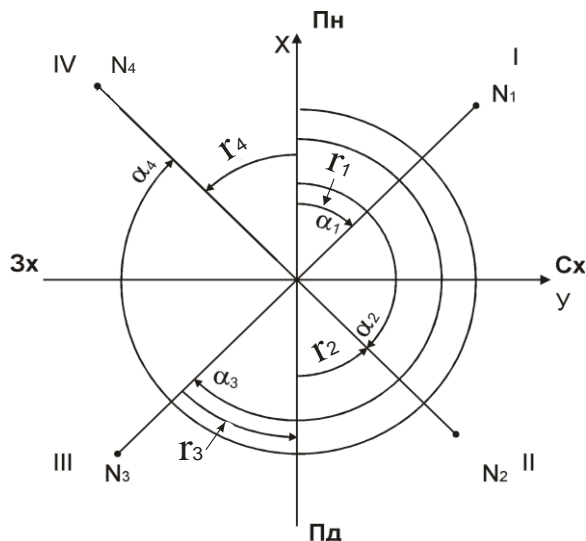


Рис. 4.4. Зв'язок між дирекційними кутами та румбами

Таблиця 4.1.

Чверті	Значення дирекційних кутів	Румби	Назви румбів	Координати	
				х (знак)	у (знак)
I	$0^\circ - 90^\circ$	$r = \alpha$	Пн Сх	+	+
II	$90^\circ - 180^\circ$	$r = 180^\circ - \alpha$	Пд Сх	-	+
III	$180^\circ - 270^\circ$	$r = \alpha - 180^\circ$	Пд Зх	-	-
IV	$270^\circ - 360^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$	Пн Зх	+	-

За таким же принципом можна аналітично знаходити румби не тільки дирекційних кутів, а й істинних та магнітних азимутів, якщо їх значення відомі.

Зрозуміло, що румби дирекційних кутів та істинних азимутів можна визначати і графічно, прикладаючи нульовий діаметр до потрібного напрямку (північного чи південного) відповідного меридіана чи паралельній йому лінії.

4.4. Якщо між двома суміжними лініями AB і BC (рис. 4.5) виміряти горизонтальний кут і знати дирекційний кут вихідної лінії α_{AB} , то можна обчислити дирекційний кут наступної лінії α_{BC} .

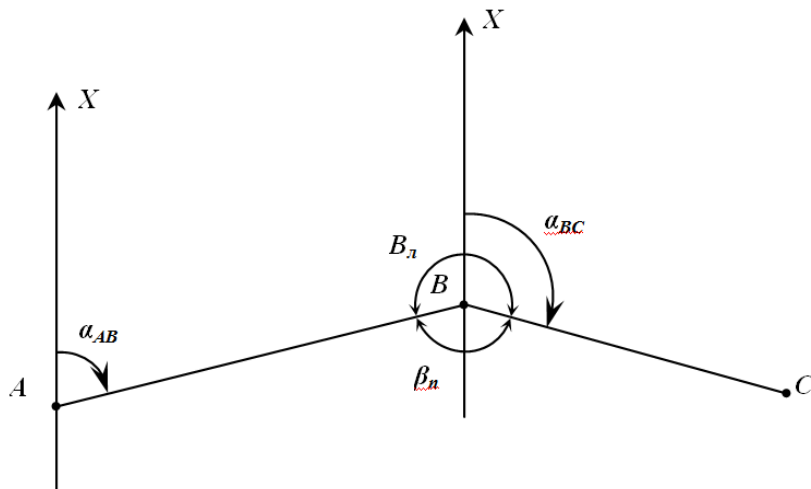


Рис. 4.5. Передача дирекційних кутів

Залежно від виміряного кута β_n (кут правий по ходу) чи β_l (кут лівий по ходу), дирекційний кут наступної лінії може бути обчислений за формулами:

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^\circ - \beta_n \quad (4.3)$$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - 180^\circ + \beta_l \quad (4.4)$$

Словами ці залежності можна сформулювати так:

1) дирекційний кут наступної сторони дорівнює дирекційному куту попередньої сторони $+180^\circ$ та мінус кут, що лежить праворуч між цими сторонами;

2) дирекційний кут наступної сторони дорівнює дирекційному куту попередньої сторони -180° та плюс кут, що лежить ліворуч між цими сторонами.

Значення дирекційних кутів має знаходитися в межах $0^\circ - 360^\circ$. Тому, коли при виконанні математичних дій воно виходить більшим за 360° , то потрібно відняти 360° , коли ж меншим за 0° , то потрібно додати 360° .

Тема 5.

Лінійні вимірювання.

- 5.1. Загальні відомості про вимірювання довжин ліній.
- 5.2. Вимірювання довжин ліній стрічками та рулеткам, врахування поправок.
- 5.3. Лінійні вимірювання оптичними далекомірами, світло- і радіовіддалемірами.

5.1. Необхідною складовою будь-якого виду знімань є лінійні вимірювання з метою визначення горизонтальних відстаней (прокладань) між точками місцевості. Виміряти довжину лінії на місцевості можна різними способами, вибір якого залежить від потрібної точності вимірювань, умов місцевості, наявних приладів.

Безпосередній спосіб оснований на прямому вимірюванні ліній механічними лінійними приладами, до яких належать мірні стрічки, рулетки, дроти.

При *посередньому способі* довжину лінії визначають як функцію встановлених геометричних або фізичних співвідношень. Геометричні співвідношення використовують для аналітичних обчислень шуканих відстаней за виміряними базисами і кутами, а також в оптичних далекомірах. Фізичні співвідношення для вимірювання відстаней покладені в основу конструкції електрофізичних приладів – світловіддалемірів і радіовіддалемірів.

5.2. *Мірні лінійні прилади* призначені для вимірювання довжини ліній на місцевості або в гірничих виробках способом їх послідовного відкладання вздовж вимірюваної лінії. В маркшейдерських, топографічних, геодезичних роботах застосовуються такі мірні лінійні прилади:

- сталеві стрічки довжиною 20 і 24 м і поділками через 10 см з комплектом шпильок (забезпечується можливість вимірювання довжини з точністю 1:1 000 — 1:2 000);
- сталеві рулетки довжиною 20, 30, 50 м і поділками через 10 або 1 мм з динамометрами для постійного натягу при вимірюванні (точність вимірювання 1:3 000 — 1:5 000);
- тасьмові рулетки довжиною 10 м з поділками через 1 см (точність вимірювання 1:100 — 1:200);
- мірні жезли, шкальні стрічки, підвісні сталеві та інварні дроти зі шкалами з точністю відліку 0,1 мм (точність спеціальних високоточних вимірювань за особливою методикою 1:10 000 — 1:100 000).

Найширше використання серед мірних лінійних приладів отримали сталеві стрічки (рис.5.1). При вимірюванні відстаней шпильки вставляються у прорізи на кінцевих пластинах стрічки і вдавлюються в ґрунт для фіксації кінцевих штрихів. Для натягування стрічки використовують прикріплені до її кінців ручки. У неробочому стані стрічку намотують на кільце зі скобами.

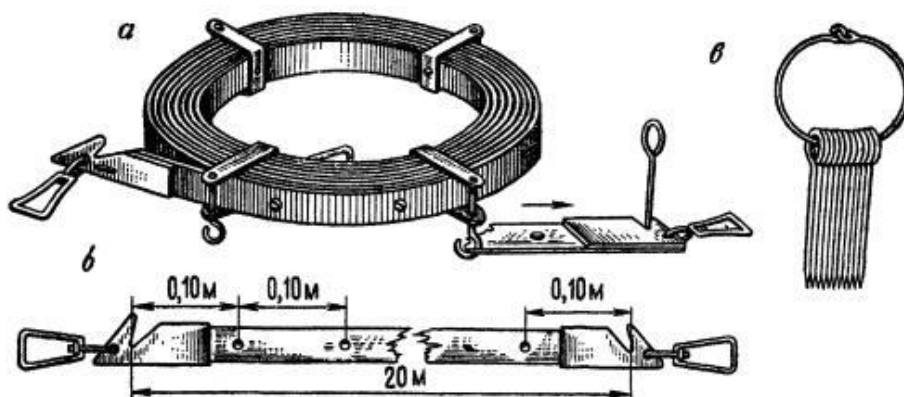


Рис. 5.1. Сталева стрічка з комплектом шпильок

Вимірювання ліній землемірною стрічкою полягає у послідовному її укладанні в створі лінії. Порядок роботи такий. Початок і кінець лінії фіксують кілками завдовжки 25-50 см, у торці кілків забито цвяхи. Головки цвяхів повинні підніматися над торцем на 3-4 см. Біля крайніх точок ставлять віхи – дерев'яні жердини завдовжки 2-3 м. Для того щоб їх добре було видно на фоні навколишніх предметів, віхи фарбують смугами впоперек діаметра у білих та чорний (білий та червоний) кольори. Для підвищення точності вимірювань довгих ліній у їх створі через кожні 50-100 м установлюють допоміжні віхи. При цьому треба враховувати характер рельєфу та видимість горизонту. Установку віх у створі лінії, що вимірюється, називають *провішуванням лінії*.

У результаті вимірювань довжини лінії вносять такі поправки, м:
за компарування стрічки

$$\Delta D_K = \Delta l_K D / l_O; \quad (5.1)$$

за температуру стрічки

$$\Delta D_t = \alpha_O (t_B^O - t_K^O) D / l_O; \quad (5.2)$$

за нахил лінії

$$\Delta D_V = -2D \sin^2 V / 2, \quad (5.3)$$

де V — кут нахилу лінії.

5.3. *Оптичні далекоміри (віддалеміри)* – це геодезичні прилади, які дають змогу визначати горизонтальні та похилі відстані посереднім

способом. Застосування їх особливо ефективно під час виконання геодезичних робіт у важкодоступних районах, де використання механічних приладів для безпосереднього вимірювання довжин ліній вкрай ускладнене або взагалі неможливе.

Принцип вимірювання відстаней далекомірами базується на розв'язанні прямокутних або рівнобедрених трикутників, які утворюються між спостерігачем і базисом далекоміра (рейкою).

Як ниткові далекоміри (рис. 5.2) можуть використовуватися всі зорові труби геодезичних приладів (теодолітів, нівелірів, кіпрегелів), які мають сітки ниток. Дві горизонтальні нитки, що розміщені симетрично відносно перехрестя ниток, є далекомірними.

У даному випадку:

$$D = Kn, \quad (5.4)$$

де K – коефіцієнт далекоміра (як правило, $K = 100$),

n – різниця віддіків по рейці, взятих по нижній і верхній далекомірних нитках.

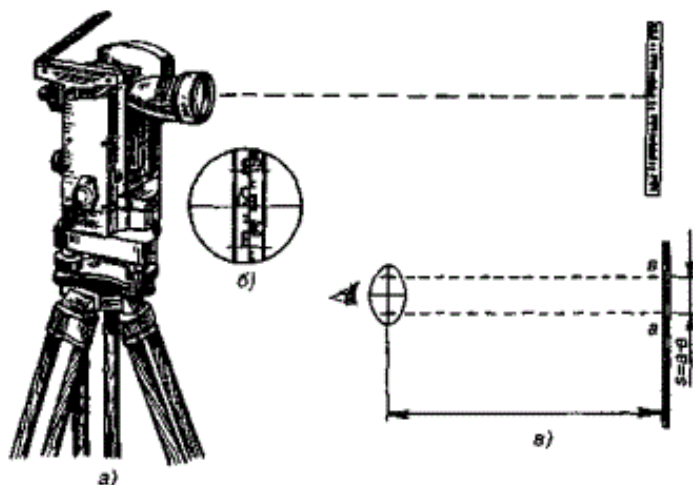


Рис. 5.2. Вимірювання нитковим далекоміром:

а) оптичний далекомір; б) поле зору труби; в) схема вимірювання

До переваг ниткового далекоміра слід віднести простоту обладнання і зручність застосування, до недоліків – порівняно низьку точність вимірювання відстаней, яка становить 1:200 – 1:400.

Світло- і радіовіддалеміри належать до групи електромагнітних віддалемірів (далекомірів), які працюють за принципом вимірювання часу проходження електромагнітними хвилями відстаней (рис. 5.3). Якщо позначити швидкість поширення електромагнітних хвиль через ν , а час проходження ними відстані, що вимірюється через t , то ця відстань визначатиметься за формулою:

$$D = vt/2. \quad (5.5)$$

Швидкість поширення електромагнітних хвиль відома: у вакуумі вона дорівнює 299 792 456 м/с, а в повітрі вона може бути визначена з урахуванням показника заломлення повітря, який залежить від температури, тиску і вологості середовища.

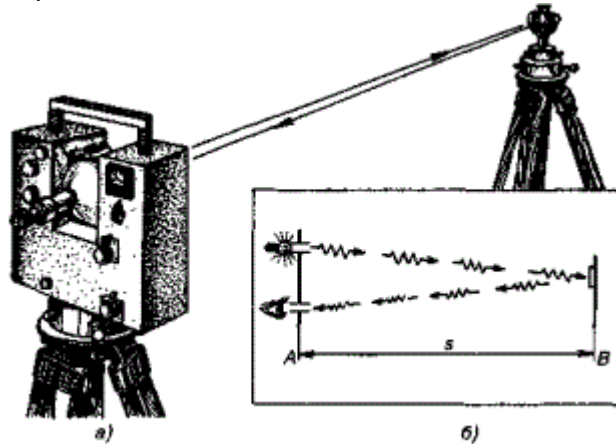


Рис. 5.3. Вимірювання світловіддалеміром:
а) світловіддалемір; б) схема ходу променів

Через особливості прийому й поширення радіохвиль, радіовіддалеміри застосовуються, як правило, при вимірюванні порівняно великих віддалей і у навігації. А світловіддалеміри, які використовують електромагнітні коливання світлового діапазону, найбільше поширення отримали при виконанні інженерно-геодезичних робіт.

При вимірюванні віддалей у приміщеннях, на будівельних майданчиках використовують лазерні рулетки (рис. 5.4), які не потребують відбивачів.

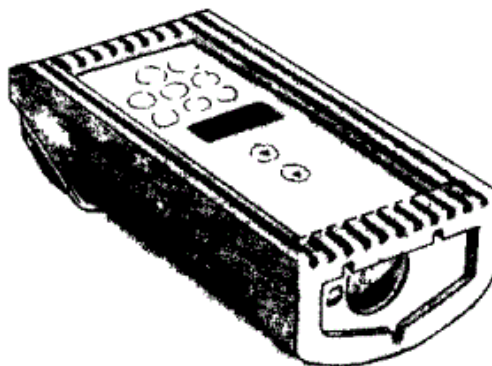


Рис. 5.4. Зовнішній вигляд лазерної рулетки

Тема 6.

Загальні відомості про кутові вимірювання та теодоліти.

- 6.1. Принцип вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів.
- 6.2. Теодоліти, їх призначення, класифікація.
- 6.3. Основні частини теодоліта. Зняття відліків.
- 6.4. Перевірки та юстування теодоліта.

6.1. У топографо-геодезичній практиці вимірюють не кути між напрямками на місцевості, а їх ортогональні проекції в горизонтальній й вертикальній площинах.

Геометричний принцип вимірювання горизонтальних й вертикальних кутів можна подати наступною схемою (рис. 6.1).

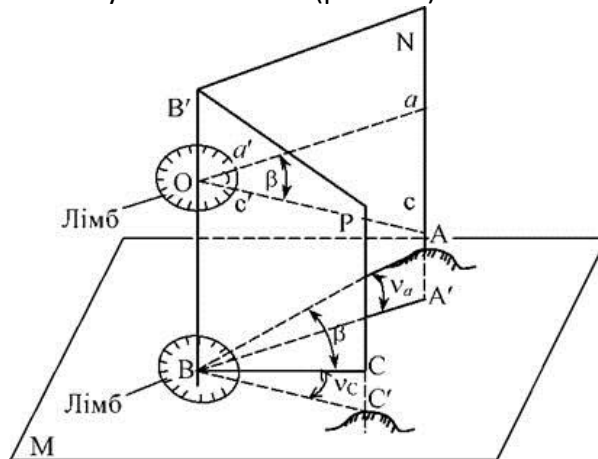


Рис. 6.1. Принцип вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів

Нехай на місцевості знаходяться три точки C , B і A , розміщені на різних висотах. Необхідно виміряти горизонтальний кут при вершині B . Горизонтальним кутом буде кут β , утворений проекціями $c'a'$ і $a'a$ на горизонтальну площину M . Правило обчислення горизонтального кута на місцевості можна сформулювати так: щоб одержати значення горизонтального кута, необхідно від відліку на правий напрям (за ходом годинникової стрілки) відняти відлік на лівий напрям. У нашому випадку:

$$\beta = c' - a' \quad (6.1)$$

Якщо відлік на правий напрям менший відліку на лівий напрям, то до відліку на праву точку додають 360° і знову віднімають відлік на ліву точку.

Вертикальні кути напрямів на точку візування лежать у вертикальній площині. Під вертикальним кутом розуміють кут між стороною та її проекцією на горизонтальну площину. Під час відліку вертикальних кутів від горизонтальних проекцій ліній до їх напрямів на місцевості отримують кути нахилу ν_c і ν_a .

Описаний геометричний принцип вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів здійснюється у кутомірному приладі – теодоліті.

6.2. *Теодоліт* – прилад, призначений для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів. Теодоліти, які дозволяють вимірювати ще й відстані за далекомірними нитками, а також азимути за допомогою накладної бусолі, називають *теодолітами-тахеометрами*.

Теодоліти класифікують за багатьма ознаками:

- за призначенням: геодезичні, маркшейдерські, астрономічні, фототеодоліти та ін.;
- за точністю (відповідно до середньої квадратичної помилки вимірювання кута): високоточні (Т05, Т1), точні (Т2, Т5) і технічні (Т15, Т30, 2Т30);
- за типом відлікового пристрою: верньєрні, із шкаловим мікроскопом, із штриховим мікроскопом, із оптичним мікрометром, із електронною цифровою індикацією;
- за конструкцією вертикальної осі: повторювальні, неповторювальні або прості;
- за конструкцією оптичної відлікової системи: з двохстороннім відліком за кругами і одностороннім;
- за фізичною природою носія інформації: механічні, оптичні, кодові;
- за типом зорової труби: з прямим і оберненим зображенням;
- за конструкцією стабілізації відлікового індекса: з рівнем при вертикальному крузі, з рівнем при алідаді горизонтального круга, з компенсатором кутів нахилу.

У шифрі теодоліта літера „Т” означає „теодоліт”, а цифри – середню квадратичну похибку вимірювання горизонтального кута одним прийомом (у секундах). Додаткова літера в шифрі теодоліта означає його модифікацію або конструктивне рішення: „А” – астрономічний, „М” – маркшейдерський, „К” – з компенсатором вертикального круга, „П” – зорова труба з прямим зображенням. Якщо на основі базової моделі розроблена нова модифікація – перед шифром додається відповідна цифра, наприклад, „2”.

6.3. У топографо-геодезичній практиці широкого поширення набув *теодоліт 2Т30*, який відноситься до технічних, з повторювальною системою вертикальної осі. Система відліку одностороння, з шкаловим мікроскопом. Призначений для вимірювання кутів у теодолітних і тахеометричних ходах, знімальних геодезичних мережах, при перенесенні в натуру різноманітних споруд, інженерно-технічних вишукуваннях трас. Загальний вигляд і будова теодоліта 2Т30 показана на рис. 6.2.

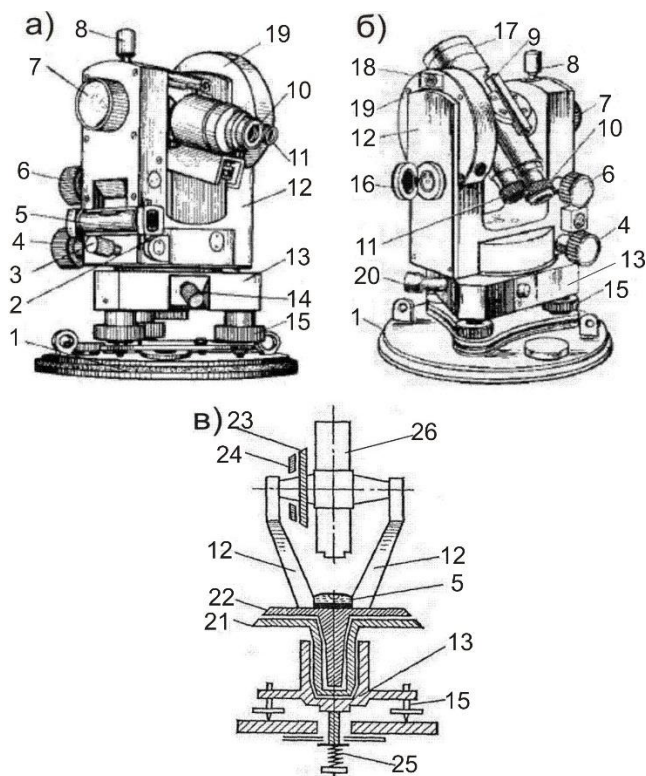


Рис. 6.2. Загальний вигляд і будова теодоліта

Теодоліти бувають різних конструкцій. Вони мають різний зовнішній вигляд, але назви основних частин у всіх типів теодолітів і їх призначення однакові.

Штатив служить для встановлення приладу над вершиною кута. До верхньої частини (*головки*) *штатива* за допомогою *станового гвинта* (25) прикріплюється теодоліт. На головку штатива спирається *основа* (1) з трьома *піднімальними гвинтами* (15) і *підставкою* (13), яку ще називають *трегер*. Піднімальні гвинти розташовані через 120° один від одного. Їх призначення – приводити прилад у горизонтальне положення за допомогою *циліндричного рівня* (5).

Для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів служать *кутомірні круги теодоліта* – відповідно *горизонтальний* (позначається *ГК*) і *вертикальний* (*ВК*) (19). Круги складаються із *лімба* (*ГК* – (21), *ВК* – (23)) і *алідади* (*ГК* – (22), *ВК* – (24)). *Лімба* – це скляний круг, який розмічений поділками від 0° до 360° за рухом годинникової стрілки. При вимірюванні кута лімба є нерухомим і горизонтальним. Вісь алідади вміщується у вісь лімба. На алідаді нанесено відліковий пристрій у вигляді *шкали*, за допомогою якої знімається відлік за лімбом.

Над *трегером* (13) розміщена верхня частина теодоліта, яка називається *алідадною*. Вона обертається навколо вертикальної осі теодоліта і складається з *алідади ГК* (22), *колонок* (12), на яких кріпиться *зорова труба* (26) та *вертикального круга* (19). Зорова труба може обертатися навколо своєї осі обертання від 0° до 360° . На одному з кінців осі обертання труби закріплений вертикальний круг. Під час вимірювань вертикальний круг може розміщуватись від зорової труби ліворуч (*круг ліворуч* – *КЛ*) або праворуч (*круг праворуч* – *КП*). *Лімб* (23) *вертикального круга* наглухо скріплений з зоровою трубою і обертається разом з нею, а *алідада* (24) *вертикального круга* – нерухома.

Зорова труба (26) має *об'єktiv* (17), *окуляр* (10), *фокусуючий гвинт* (*кремальєру*) (7), *візир* (9), *закріпний гвинт* (8) і *мікрометричний* або *навідний гвинт* (6). За допомогою *фокусуючого гвинта* досягається чітке зображення предмета в полі зору труби, а за допомогою *окуляра* – чітке зображення сітки ниток.

Відліки в теодоліті складаються з двох частин – *градуси* (знімаються за підписаним штрихом лімба) та *хвилини* (знімаються за шкалою від „0” до підписаного штриха лімба). Ціна найменшої нанесеної поділки шкали – $5'$. Відліки хвилин за шкалами знімають на око, з точністю до $1'$. При цьому, внизу наведено шкалу горизонтального круга з позначенням Γ , а зверху – шкалу вертикального круга з позначенням B . Отже, на рис. 6.3 відлік за *ГК* при *КП* = $125^\circ 13'$; відлік за *ГК* при *КЛ* = $305^\circ 13'$.

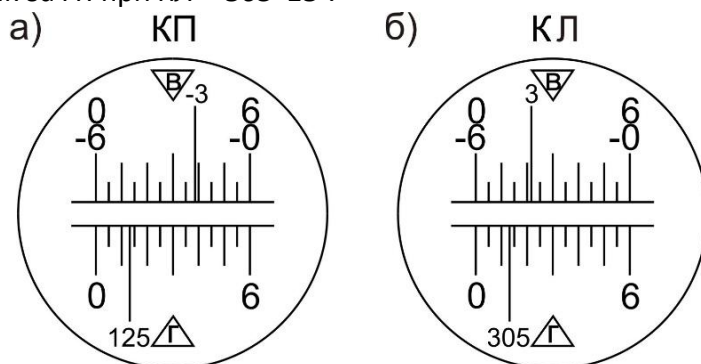


Рис. 6.3. Поле зору відлікового мікроскопу теодоліта 2Т30:

а) при крузі праворуч; б) при крузі ліворуч

Потрібно зауважити, що відліки за вертикальним кругом знімаються за таким же принципом, але в залежності від знака кута нахилу необхідно використовувати різні шкали, що мають відповідне оцифрування. Наприклад, на рис. 6.3,а відлік на лімбі = -3° , тому використовуємо шкалу від „0” до „-6”,

відраховуючи кількість мінут *зправа наліво*. Отже, на рис. 6.3,а відлік за *ВК* при $КП = -3^{\circ}22'$; а на рис. 6.3,б відлік за *ВК* при $КЛ = +3^{\circ}22'$.

6.4. Під *перевірками* розуміють контроль правильності взаємного положення осей і частин приладу. У випадку виявлення невідповідності її усувають шляхом юстування (*виправлення*).

Перевірки теодоліта 2Т30.

Перевірка осі циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга (перевірка циліндричного рівня). Вісь циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта.

Виконання перевірки. Приводять теодоліт в робоче положення. Після цього розташовують циліндричний рівень за напрямком двох піднімальних гвинтів. Оскільки теодоліт приведений в робоче положення бульбашка рівня має знаходитись на середині. Далі повертають алідадну частину теодоліта на 180° . Якщо бульбашка рівня змістилась від нуль-пункта не більше однієї поділки, то умова виконана. В іншому випадку виконують виправлення.

Виправлення. На половину дуги відхилення бульбашку повертають до нуль-пункта виправними гвинтами рівня. Після виправлення перевірку повторюють знову.

Перевірка сітки ниток. Горизонтальна нитка сітки ниток зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта.

Виконання перевірки. Приводять теодоліт в робоче положення і на відстані 20-30 м підвішують нитковий висок. Наводять зорову трубу на нитку виска. Якщо вертикальна нитка сітки співпадає з ниткою виска, то умова виконана. Якщо вертикальна нитка сітки не співпадає з ниткою виска, то виконують виправлення.

Виправлення. Відкручують ковпачок в окулярній частині зорової труби і відпускають чотири гвинти, за допомогою яких кріпиться окуляр до труби. Після цього повертають сітку ниток так, щоб вертикальна нитка співпала з лінією виска. Далі закріплюють гвинти і прикручують ковпачок. Після виправлення перевірку повторюють знову.

Перевірка перпендикулярності візирної осі до осі обертання труби (перевірка колімаційної похибки). Візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання зорової труби.

Виконання перевірки. Приводять теодоліт в робоче положення. На місцевості вибирають віддалену, добре видиму точку і наводять на неї зорову трубу при $КП$. Знімають відлік з горизонтального круга $КП_1$. Після цього відкріплюють закріпні гвинти алідади горизонтального круга та зорової труби,

переводять трубу через зеніт і при KL наводять її на ту ж саму точку, що і при $KП$. З горизонтального круга знімають відлік KL_1 . Для теодоліта 2Т30, для виключення ексцентриситету алідади, необхідно повернути лімб приблизно на 180° . Це виконується за допомогою закріпного гвинта лімба. Після зміщення лімба повторюють наведення на цю ж точку і знімають відліки $KП_2$ і KL_2 .

За отриманими відліками з горизонтального круга обчислюють колімаційну похибку за формулою:

$$c = \frac{(KL_1 - KП_1 \pm 180^\circ) + (KL_2 - KП_2 \pm 180^\circ)}{4} \quad (6.2)$$

Якщо $c \leq 1'$, то умова виконана. В іншому випадку виконують виправлення.

Виправлення. Обчислюють відлік за горизонтальним кругом, коли візирна вісь зорової труби перпендикулярна до осі її обертання, за однією з формул:

$$\begin{aligned} KL_0 &= KL_2 - c; \\ KП_0 &= KП_2 + c. \end{aligned} \quad (6.3)$$

Обертаючи навідний гвинт алідади горизонтального круга, встановлюють вирахуваний відлік KL_0 (або $KП_0$). При цьому центр сітки ниток зміститься з спостережуваної точки. Після цього знімають ковпачок в окулярній частині зорової труби, який закриває доступ до виправних гвинтів сітки ниток. Попередньо послабивши верхній виправний гвинт, обертають по черзі правий і лівий виправні гвинти (один відкручують, а другий закручують за допомогою шпильки), пересуваючи пластинку з сіткою ниток так, щоб центр сітки співпав із зображенням предмету. Після виправлення перевірку повторюють знову.

Перевірка перпендикулярності осі обертання зорової труби до вертикальної осі обертання теодоліта. Горизонтальна вісь обертання зорової труби повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта.

Виконання перевірки. Встановлюють теодоліт на відстані 20-30 м від стіни будинку. Приводять його в робоче положення і наводять центр сітки ниток на точку, яка розташована в верхній частині стіни. За допомогою зорової труби теодоліта проектують точку вниз на висоту приладу і позначають на стіні її проекцію m_1 . Після цього переводять трубу через зеніт і при другому положенні круга таким же способом одержують другу проекцію – m_2 . Якщо обидві точки співпадають або знаходяться в межах бісектора сітки ниток, то умова виконана. В іншому випадку виправлення виконують тільки в геодезичних майстернях.

Тема 7.

Вимірювання кутів теодолітом.

- 7.1. Приведення теодоліта в робоче положення.
- 7.2. Вимірювання горизонтальних кутів.
- 7.3. Вимірювання вертикальних кутів.

7.1. Приведення теодоліта в *робоче положення* включає *центрування, горизонтування приладу й фокусування зорової труби*.

Центрування – це встановлення центра лімба або осі алідади на одній прямовисній лінії з вершиною кута. Для центрування використовують ниткові виски і оптичні центрири. Оскільки теодоліт 2Т30 не має оптичного центриру, ми будемо користуватись виском.

Для центрування теодоліт встановлюють над вершиною кута так, щоб головка штатива була наближено горизонтальною, а висок знаходився над кілочком, який позначає вершину кута. Ніжки штатива встановлюють в ґрунт, натиснувши ногою на металеві наконечники. Переконавшись у стійкості приладу, необхідно послабити становий гвинт і виконати більш точне центрування, переміщуючи теодоліт на головці штатива, поки висок не суміститься з точкою на місцевості. Після закінчення операції центрування закріплюють становий гвинт.

Горизонтування – приведення площини лімба в горизонтальне положення або осі алідади в прямовисне положення піднімальними гвинтами.

Для горизонтування спочатку встановлюють циліндричний рівень горизонтального круга паралельно до двох піднімальних гвинтів і приводять його бульбашку на середину. Потім, повертають алідаду на 90° у напрямку третього гвинта. Обертаючи лише третій піднімальний гвинт, знову приводять бульбашку в нуль-пункт. Ці дії повторюють декілька разів, поки бульбашка рівня не залишатиметься на середині.

Фокусування зорової труби – отримання в полі зору труби чіткого зображення сітки ниток і предмету спостереження.

Зорову трубу наводять на предмет і обертаючи *кремальєру* фокусують трубу, тобто добиваються чіткої, різко окресленої видимості предмета. Потім обертаючи *окулярне кільце*, добиваються чіткого зображення сітки ниток. При спостереженні різновіддалених предметів кожного разу змінюють фокусування.

7.2. Горизонтальні кути вимірюються *способом прийомів* або *кругових прийомів* (рис. 7.1). Основним є спосіб прийомів.

Спосіб прийомів. Теодоліт встановлюють над вершиною кута 2 (рис. 7.1,а) і приводять його в робоче положення.

Закріпивши лімб, обертанням алідади наводять трубу на праву точку 3, закріплюють алідаду і знімають відлік з горизонтального круга. Значення відліку записують в журнал кутових вимірювань. Далі відкріплюють алідаду, візують на ліву точку 1 і знімають відлік, записуючи його значення в журнал. Такі вимірювання називають півприйомом. Значення горизонтального кута одержують із півприйому як різницю відліків на точки 3 і 1.

Для контролю і зменшення впливу систематичних помилок кут вимірюють при другому положенні вертикального круга. При цьому лімб між півприйомами зміщують на 1° - 2° .

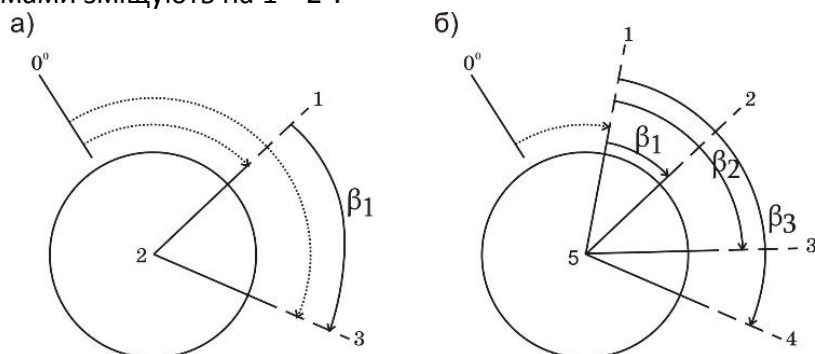


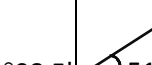
Рис. 7.1. Способи вимірювання горизонтальних кутів
а) спосіб прийомів; б) спосіб кругових прийомів

Два таких вимірювання складають прийом. За отриманими результатами вимірювань в півприйомах обчислюють середнє значення вимірюваного кута, за умови, що обидва значення кута відрізняються між собою не більше як на подвійну точність відлікового пристрою.

Приклад заповнення журналу наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1.

Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів
Теодоліт 2Т30 №1960

№№ ст.	№№ точ. навед.	Полож. ВК	Відліки по ГК	Кути з пів-приймів	Середнє значення кута	Схема кута
2	3	КП	45°27' (1)	51°09' (3)	51°08,5'	
	1		354°18' (2)			
	3	КЛ	225°26' (4)	51°08' (6)		
	1		174°18' (5)			

Позначеннями (1)-(6) показана послідовність запису відліків та обчислень.

При обчисленні горизонтального кута необхідно завжди віднімати від відліків на праву точку відліки на ліву. Якщо відліки на праву точку менші за відліки на ліву, то до перших потрібно додати 360°.

7.3. *Кутом нахилу* ν називають кут між горизонтальною площиною і напрямком на необхідну точку (рис. 7.2). Прийнято називати кути нахилу *вертикальними*. Якщо точка, на яку необхідно визначити кут нахилу, розміщена вище від горизонтальної площини, то кут нахилу буде із знаком плюс, а якщо нижче – мінус.

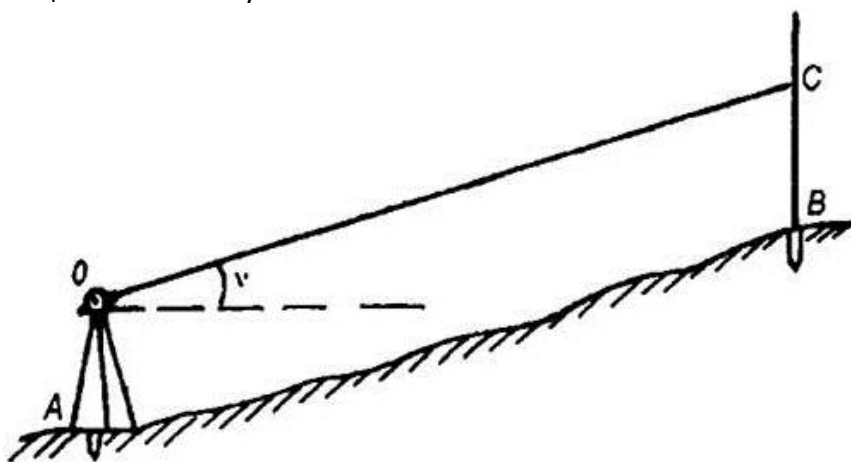


Рис. 7.2. Схема вимірювання вертикального кута

В процесі вимірювання кутів нахилу спочатку визначають *місце нуля вертикального круга* (МО ВК). МО ВК – відлік з вертикального круга, при якому візирна вісь зорової труби горизонтальна і бульбашка рівня при алідаді ВК знаходиться в нуль-пункті.

Місце нуля МО вертикального круга визначають за відповідними формулами залежно від конструкції теодоліта. Зокрема, для теодоліта 2Т30 має місце:

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2}. \quad (7.1)$$

Кут нахилу ν обчислюють за формулами:

$$\nu = КЛ - МО = МО - КП = \frac{КЛ - КП}{2}. \quad (7.2)$$

Якщо значення кута нахилу, визначені при положеннях КП і КЛ, відрізняються не більш як на подвійну точність приладу, то з них виводять середнє і записують у відповідні графи журналу (табл. 7.2), вважаючи цей запис величиною вертикального кута нахилу лінії.

Таблиця 7.2.

Журнал вимірювання вертикальних кутів

Теодоліт 2Т30 №1960

№№ ст	№№ точок навед.	Відліки за ВК		МО	Кути нахилу		Кут нахилу середній
		КП	КЛ		МО-КП	КЛ-МО	
1	2	+1°31'	-1°25'	+0°03'	-1°28'	-1°28'	-1°28,0'
2	3	-2°23'	+2°28'		+2°26'	+2°25'	+2°25,5'
3	4	+3°44'	-3°39'		-3°41'	-3°42'	-3°41,5'

Тема 8.

Загальні відомості про нівелювання та нівеліри.

- 8.1. Види нівелювання.
- 8.2. Точність та способи геометричного нівелювання.
- 8.3. Будова нівеліра та рейок. Зняття відліків.
- 8.4. Перевірки та юстування нівеліра.

8.1. *Нівелювання* – це сукупність вимірювальних робіт з визначення перевищень між точками місцевості, споруд чи інших об'єктів. Перевищення використовують для обчислення висот точок на поверхні Землі, розв'язання задач при вишукуванні, проектуванні, будівництві та експлуатації різних об'єктів, вивченні вертикальних рухів земної кори, відображенні рельєфу на топографічних планах і картах та ін.

Залежно від використовуваних приладів, нівелювання прийнято поділяти на види:

- *геометричне* (виконується горизонтальним візирним променем за допомогою нівеліра);
- *тригонометричне* (виконується похилим візирним променем за допомогою теодоліта);
- *барометричне* (перевищення між точками визначаються за різницею атмосферного тиску в цих же точках);
- *механічне* (виконується за допомогою профілографів, які автоматично записують профіль місцевості);
- *гідростатичне* (основане на законі сполучених посудин, в яких поверхня вільної рідини знаходиться на одному рівні);
- *стереофотограмметричне* (основане на використанні фотознімків, які утворюють стереопару).

8.2. Найбільше поширення в топографо-геодезичній практиці має геометричне нівелювання.

За точністю його прийнято поділяти наступним чином:

- I клас (допустима нев'язка – 3 мм на 1 км ходу);
- II клас (допустима нев'язка – 5 мм на 1 км ходу);
- III клас (допустима нев'язка – 10 мм на 1 км ходу);
- IV клас (допустима нев'язка – 20 мм на 1 км ходу);
- технічне (допустима нев'язка – 50 мм на 1 км ходу);

Відомі такі *способи* геометричного нівелювання: *нівелювання із середини* та *нівелювання вперед* (рис. 8.1).

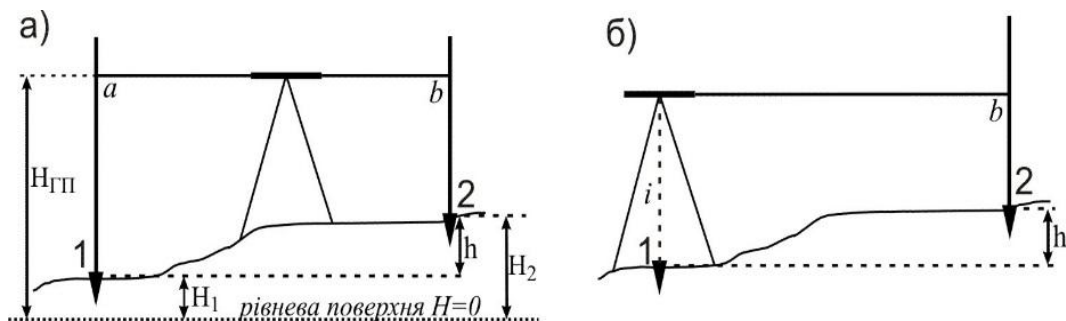


Рис. 8.1. Способи геометричного нівелювання:
а) нівелювання із середини; б) нівелювання вперед

При нівелюванні із середини в точках 1 і 2 встановлюють нівелірні рейки, а посередині між точками – нівелір. Коли нівелювання виконують в напрямку від першої точки до другої, то першу точку називають *задньою*, а другу – *передньою*. У нашому випадку:

$$h = a - b, \quad (8.1)$$

При нівелюванні вперед нівелір встановлюється або біля однієї з точок або на одній з точок. У нашому випадку:

$$h = i - b, \quad (8.2)$$

При прокладанні нівелірних ходів більш поширеним є нівелювання із середини, оскільки в ньому компенсується похибка за невиконання головної умови нівеліра.

8.3. *Нівелір* – це оптико-механічний прилад, призначений для побудови в просторі горизонтального променя. В перекладі слово нівелір означає *рівень*.

За *точністю* нівеліри поділяють на високоточні (призначені для нівелювання I та II класів – Н-05, Ni002), точні (застосовуються для нівелювання III та IV класів – Н-3, Н-3К, Н-3КЛ) та технічної точності (використовуються при виконанні технічного нівелювання – Н-10, Н-10К).

У назві нівеліра літера „Н” означає нівелір, „К” – наявність компенсатора кутів нахилу, „Л” – наявність лімба горизонтального круга. *Цифра* в шифрі нівеліра означає середню квадратичну похибку (в міліметрах) на 1 кілометр подвійного нівелірного ходу.

Широке поширення на виробництві отримав нівелір марки Н-3. Загальний вигляд нівелірів Н-3 показаний на рис. 8.2.

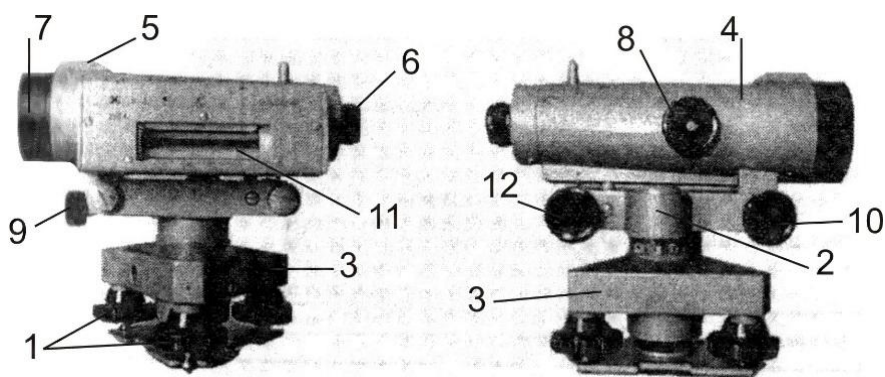


Рис. 8.2. Загальний вигляд та будова нівеліра Н-3

Основні частини нівеліра Н-3:

- 1 - *піднімальні гвинти* – призначені для приведення бульбашки круглого рівня в нуль-пункт;
- 2 - *круглий рівень* – призначений для встановлення осі обертання нівеліра в прямовисне положення;
- 3 - *підставка нівеліра*;
- 4 - *зорова труба*;
- 5 - *візир* – призначений для швидкого, приблизного наведення на рейку;
- 6 - *окуляр*;
- 7 - *об'єктив*;
- 8 - *фокусуючий гвинт (кремальєра)* – призначений для отримання чіткого зображення рейки в полі зору зорової труби;
- 9 - *затискний (закріпний) гвинт* – призначений для закріплення зорової труби в нерухомому положенні;
- 10 - *навідний (мікрометричний) гвинт* – призначений для точного наведення зорової труби на рейку в горизонтальній площині (працює при загвинченому затискному гвинті);
- 11 - *циліндричний рівень* – призначений для встановлення лінії візування в горизонтальне положення;
- 12 - *елеваційний гвинт* – призначений для приведення кінців бульбашки циліндричного рівня в контакт (нуль-пункт).

Над циліндричним рівнем розташований призмий пристрій, який передає зображення положення бульбашки в поле зору труби. Таким чином, спостерігачу, в полі зору труби, видно кінці бульбашки рівня і рейку, з якої знімають відлік (рис. 8.4). Якщо бульбашка рівня знаходиться в нуль-пункті, то зображення її в полі зору труби утворює в верхній частині один загальний овал.

Нівелірна рейка служить робочою мірою вимірювання перевищень. За точністю вони поділяються на високоточні (РН-05), точні (РН-3) та технічні (РН-10). Літери означають – „Р” – рейка, „Н” – нівелірна, цифри – вказують середню квадратичну похибку (в міліметрах) на 1 кілометр подвійного нівелірного ходу.

Рейка РН-10 (рис. 8.3) – двостороння, шашкова, ціна поділки 10 мм. Являє собою дерев’яний брусок шириною 8-10 см, товщиною 2-3 см, виготовлений з сухої деревини м’якої породи (як правило, з липи). З боків рейки закріплені дві ручки (2). Кінці рейки для міцності оковують металевими пластинами (1). На одній стороні нанесені чорні і білі поділки (чорна сторона), на іншій – червоні і білі (червона сторона). Поділ виконаний у вигляді дециметрів, розділених на 10 частин. Кожний дециметр підписаний двозначним числом (3). Початок кожного дециметра фіксується тонким горизонтальним штрихом (4), від якого будується п’ятисантиметрова фігура у вигляді літери „Е” (5). На чорній стороні поділки починаються від нуля, який суміщений з нижнім кінцем рейки. На червоній стороні поділки зміщені і починаються, наприклад: з 4683, 4783, 4883. Число з якого починаються відліки на червоній стороні рейки називається п’яткою рейки. П’ятка рейки обчислюється як різниця відліків знятих з червоної і чорної сторін рейки. В залежності від того, яке зображення будує зорова труба нівеліра дециметрові підписи можуть бути прямими або оберненими (перевернутими). Як правило, виготовляють рейки три- і чотириметрові.

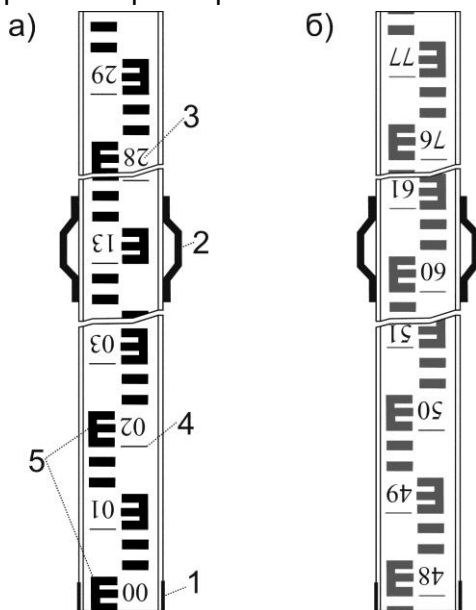


Рис. 8.3. Рейка РН-10 для нівеліра з оберненим зображенням:
а) чорна сторона; б) червона сторона

В полі зору труби (рис. 8.4) видно: вертикальний штрих (1) сітки ниток; середній (2), верхній (3) і нижній (4) – горизонтальні штрихи сітки ниток; а також кінці бульбашки циліндричного рівня (5) і рейку з поділками (6).

Перед зніманням відліку з рейки необхідно привести нівелір у робоче положення:

- 1) встановити нівелір на штатив і за допомогою піднімальних гвинтів вивести бульбашку круглого рівня на середину (в нуль-пункт);
- 2) приблизно навести зорову трубу на рейку за допомогою візиру та зафіксувати напрям наведення закріпним гвинтом;
- 3) досягнути чіткого зображення рейки в полі зору труби за допомогою фокусуючого гвинта;
- 4) досягнути чіткого зображення сітки ниток в полі зору труби за допомогою діоптрійного кільця окуляра;
- 5) точно навести зорову трубу на рейку (сумістити вертикальний штрих сітки ниток з центром рейки) за допомогою навідного гвинта;
- 6) привести бульбашку циліндричного рівня на середину за допомогою елеваційного гвинта. При цьому зображення кінців бульбашки циліндричного рівня в полі зору труби повинні утворити параболу – (5) (рис. 8.4).

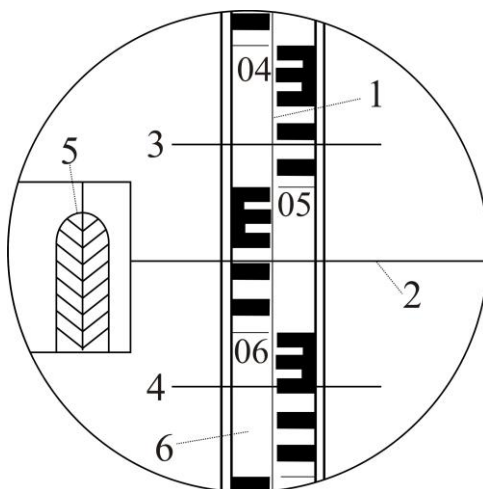


Рис. 8.4. Поле зору труби нівеліра Н-3

Відлік з рейки знімається в міліметрах і складається з чотирьох значущих цифр. Відлік являє собою відстань від нуля шкали рейки до променя даного штриха сітки. Перші дві цифри – номер дециметра, третя – число повних сантиметрових поділок від початку дециметра до даного штриха, четверта – десяті долі наступної сантиметрової поділки (знімаються на око). В нашому випадку маємо на рис. 8.4 – за верхнім штрихом – 0472, за середнім – 0559, за нижнім – 0646 мм.

8.4. Перевірки нівеліра Н-3

Перевірка круглого (сферичного) рівня. Вісь круглого рівня повинна бути паралельною осі обертання нівеліра.

Виконання перевірки. За допомогою трьох піднімальних гвинтів бульбашку круглого рівня приводять в нуль-пункт і повертають нівелір на 180^0 . Якщо бульбашка залишилась на середині, то умова виконана, а якщо бульбашка виходить за межу круга рівня, то виконують виправлення.

Виправлення. На половину дуги відхилення бульбашку повертають до нуль-пункта виправними гвинтами рівня. Після виправлення перевірку повторюють знову.

Перевірка сітки ниток. Горизонтальна нитка сітки ниток зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання нівеліра.

Виконання. Приводять нівелір в робоче положення і на відстані 20-30 м підвішують нитковий висок. Наводять зорову трубу на нитку виска. Якщо вертикальна нитка сітки співпадає з ниткою виска, то умова виконана. Якщо вертикальна нитка сітки не співпадає з ниткою виска, то виконують виправлення.

Виправлення. Відкручують ковпачок в окулярній частині зорової труби і відпускають три гвинти, за допомогою яких кріпиться окуляр до труби. Після цього повертають сітку ниток так, щоб вертикальна нитка співпала з лінією виска. Далі закріплюють гвинти. Після виправлення перевірку повторюють знову.

Перевірка головної умови нівеліра. Вісь циліндричного рівня повинна бути паралельною візирній осі зорової труби.

Виконання перевірки. Перевірка виконується подвійним нівелюванням: з середини та вперед. На місцевості закріплюють дві точки A та B на відстані одна від одної приблизно 70-80 м (рис. 8.5,а). Нівелір встановлюють строго посередині між точкам A і B та знімають відліки з чорних сторін рейок встановлених на цих точках – $a_1^{чор}$ і $b_1^{чор}$ за середнім штрихом сітки ниток. Після цього рейки на точках повертають навколо своєї осі та знімають відліки за червоними сторонами рейок – $a_1^{чер}$ і $b_1^{чер}$. За знятими відліками обчислюють перевищення за чорною та червоною сторонами: від відліку за задньою рейкою віднімають відлік за передньою рейкою, тобто:

$$\begin{aligned} h_1^{чор} &= a_1^{чор} - b_1^{чор}; \\ h_1^{чер} &= a_1^{чер} - b_1^{чер}. \end{aligned} \quad (8.3)$$

За остаточне значення перевищення h_1 беруть середнє з обчислених перевищень за чорною та червоною сторонами.

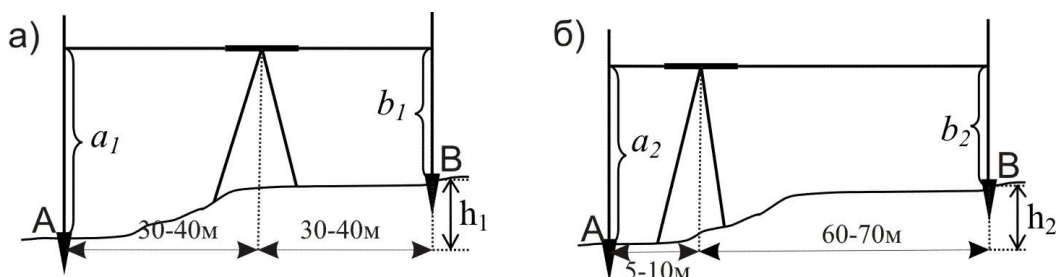


Рис. 8.5. Перевірка головної умови нівеліра:

а) нівелювання при рівності плеч; б) нівелювання при нерівності плеч

Після цього нівелір переносять та встановлюють ближче до задньої рейки так, щоб відстань до неї була приблизно 5...10 м (рис. 8.5,б). Знімають відліки на задній і передній рейках за чорною – $a_2^{чор}$ та $b_2^{чор}$ та червоною – $a_2^{чер}$ та $b_2^{чер}$ сторонами. Після чого обчислюють *перевищення* за чорною та червоною сторонами:

$$\begin{aligned} h_2^{чор} &= a_2^{чор} - b_2^{чор}; \\ h_2^{чер} &= a_2^{чер} - b_2^{чер}. \end{aligned} \quad (8.4)$$

За остаточне значення перевищення h_2 беруть середнє з обчислених перевищень.

Перевищення h_1 визначене за нівелюванням з середини буде правильним, оскільки в такому випадку компенсується похибка за непаралельність осі циліндричного рівня до візирної осі. Тому обчислюють похибку за формулою:

$$x = h_2 - h_1. \quad (8.5)$$

Якщо $|x| \leq 4$ мм, то умова перевірки виконана, якщо $|x| > 4$ мм, то виконують виправлення.

Виправлення. Безпомилковий відлік $b_0^{чор}$ обчислюють за формулою:

$$b_0^{чор} = a_2^{чор} - h_1. \quad (8.6)$$

За допомогою елеваційного гвинта середню нитку сітки встановлюють на обчислений відлік $b_0^{чор}$. В цьому випадку бульбашка циліндричного рівня зійде з нуль-пункту. Повертають виправні гвинти циліндричного рівня так, щоб бульбашка знову стала в нуль-пункт. Після виправлення перевірку повторюють.

Тема 9.

Виконання технічного нівелювання.

9.1. Нівелірні ходи.

9.2. Порядок роботи на станції нівелювання.

9.3. Визначення перевищень та висот точок. Журнал нівелювання.

9.1. *Технічне нівелювання* застосовується для визначення висот точок знімального обґрунтування при виконанні топографічних знімків, трасування лінійних споруд, вирішення задач у процесі будівництва і експлуатації інженерних споруд та ін.

Хід технічного нівелювання починають з передачі висоти від репера державної геодезичної мережі на початковий пункт ходу. Таку операцію називають *прив'язкою ходу* до репера. В кінці хід також повинен бути прив'язаний до репера державної геодезичної мережі. Розрізняють *замкнуті* та *розімкнуті* нівелірні ходи (рис. 9.1).

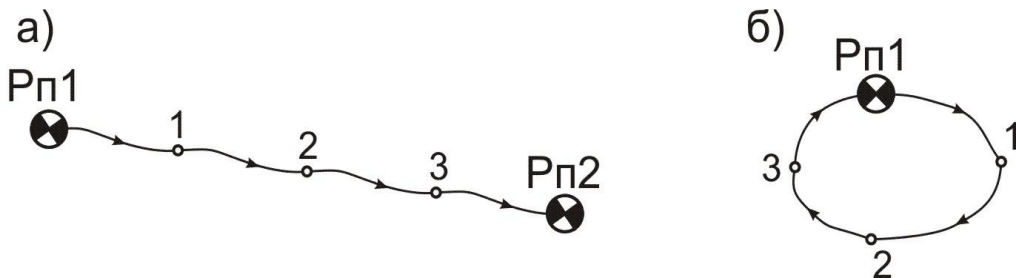


Рис. 9.1. Схема нівелірного ходу:
а) розімкнутого; б) замкнутого

Замкнутий нівелірний хід розпочинається і закінчується на одному репері. *Розімкнутий нівелірний хід* розпочинається на одному репері, а закінчується на іншому.

При цьому, під *репером* розуміють закріплений на місцевості геодезичний знак з відомою висотою.

9.2. Нівелювання виконують на станціях. *Станцією* називають одноразове встановлення нівеліра з наступним зніманням відліків за рейками, які називають *задніми*, *передніми* і *проміжними*.

Технічне нівелювання виконується способом із середини. Довжина візирного променя від нівеліра до рейки (плече нівелювання) не повинна перевищувати 120 м. Розбіжність перевищень, визначених за відліками з

чорної та червоної сторін задньої і передньої рейок допускається ± 5 мм. Відліки знімають тільки з середньої нитки.

Точки, які являються спільними для двох суміжних станцій і через які передають висоти на наступні точки, називають *зв'язуючими*, решта точок називаються *проміжними*.

Спостереження на станції виконують в такій послідовності:

- встановлюють нівелір в робоче положення на визначеному місці;
- наводять зорову трубу на задню рейку і знімають відлік з чорної сторони рейки;
- наводять зорову трубу на передню рейку і знімають відліки з чорної та червоної сторін рейки;
- наводять зорову трубу на задню рейку і знімають відлік з червоної стороною рейки;
- якщо на станції є проміжні точки, то задню рейку послідовно встановлюють на ці точки і знімають відліки лише з чорної сторони.

Така послідовність знімання відліків дозволяє контролювати стійкість штатива на станції.

Перед зніманням відліків необхідно щоразу приводити кінці бульбашки циліндричного рівня в контакт.

9.3. Всі результати спостережень записують у журналі технічного нівелювання (табл. 9.1) і відразу на станції для контролю правильності знімання відліків *обчислюють перевищення та п'ятки*.

Схема ходу до наведеного журналу технічного нівелювання відображена на рис. 9.2.

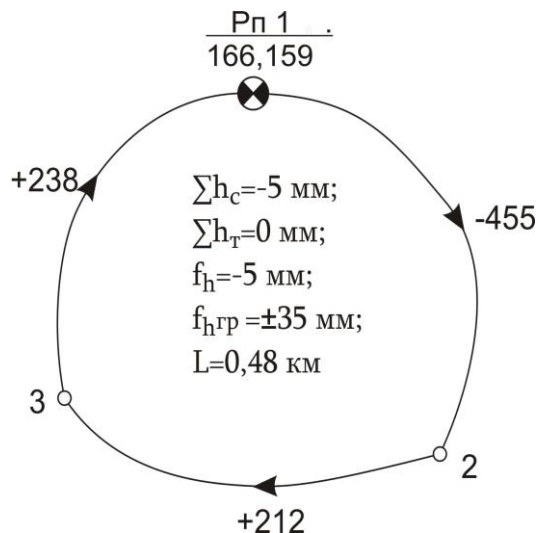


Рис. 9.2. Схема нівелірного ходу

Таблиця 9.1.

Журнал технічного нівелювання

Нівелір Н-3 №1960

№ № ст	№№ точок нівелю- вання	Відліки з рейок			Переви- щення, мм	Середнє переви- щення, мм	Горизонт приладу, м	Висоти точок, м
		задня	передня	проміжна				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Рп 1	1647(1)						166,159
		6430(4)			-456 (7)	+2		
1	2	4783(5)	2103(2)			-455 (9)		165,706
			6884(3)		-454 (8)	-453		
			4781(6)					
	2	1384						165,706
		6169			+211	+1		
2	3	4785	1173			+212		165,919
			5956		+213	+213		
			4783					
	3	1854					167,773	165,919
		6638			+237	+2		
3	4	4784		1848		+238		165,925
	Рп 1		1617			+240		166,159
			6398		+240			
			4781					
Посторін- ковий контроль		24122(Σz) 24131(Σn) -9 (Σh) -4,5	24131(Σn)		-9 (Σh)	$\Sigma h_{\text{вум}} = -5$ $\Sigma h_{\text{теор}} = 0$ $f_h = -5$ $f_{\text{ндон}} = \pm 35$		

Позначеннями (1)-(9) показана послідовність запису відліків та обчислень.

Як уже зазначалося, перевищення між точками знаходиться за принципом: «відлік по задній рейці мінус відлік по передній рейці».

П'ятку рейки обчислюють як різницю відліків по червоній і чорній сторонах. Значення „п'ятки” повинне залишатись постійним і коливатись в межах до 5 мм, що контролює правильність зняття відліків з рейок. Якщо розбіжність між перевищеннями не перевищує ± 5 мм, то обчислюють їх середнє значення, яке заокруглюють до цілого числа міліметрів

Після цього виконують посторінковий контроль та обчислення нівелірного ходу. Основні моменти такої процедури наведено нижче.

- Посторінковий контроль, як різниця сум відліків по задніх і передніх рейках:

$$\sum 3 - \sum II = \sum 2h \quad (9.1)$$

- Обчислення практичної суми середніх перевищень:

$$\sum h_{np.} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n; \quad (9.2)$$

- Теоретична сума :

$$\sum h_{теор.} = 0; \quad (9.3)$$

- Обчислення нев'язки:

$$\sum h_{np.} - \sum h_{теор.} = f_h; \quad (9.4)$$

- Обчислення допустимої нев'язки:

$$fh_{доп.} = 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{L}, \quad (9.5)$$

де L – довжина ходу в км.

- Обчислення поправок у кожне перевищення (округлені до цілих значень):

$$g_{h_i} = \frac{-f_h}{n}, \quad (9.6)$$

де n – кількість перевищень.

- Контроль:

$$\sum_{i=1}^n g_{h_i} = -f_h; \quad (9.7)$$

- Обчислення виправлених перевищень:

$$h_{i \text{ випр.}} = h_{i \text{ сеп.}} + g_{h_i}; \quad (9.8)$$

- Контроль:

$$\sum h_{i \text{ випр.}} = \sum h_{теор.} = 0; \quad (9.9)$$

- Визначення висот точок ходу:

$$H_{i+1} = H_i + h_{i \text{ випр.}} \quad (9.10)$$

Процедуру виконання обчислень можна прслідкувати за відповідними позначеннями у журналі.

Звертаємо увагу, що якщо відома висота точки H_A , висоту точки B обчислюють як суму висоти попередньої точки і виправленого перевищення:

$$H_B = H_A + h_{\text{випр.}} \quad (9.11)$$

Висоти проміжних точок обчислюють через горизонт приладу:

$$ГП = H_A + a. \quad (9.12)$$

$$H_B = ГП - b. \quad (9.13)$$

Тема 10.

Топографічні знімання місцевості.

10.1. Загальні відомості про знімання.

10.2. Способи знімання ситуації.

10.3. Види топографічних зніманих.

10.1. Сукупність робіт, які виконують на земній поверхні з метою отримання планів, карт чи профілів, називають *зніманням*.

Основними геодезичними діями під час знімань є лінійні, кутові та висотні вимірювання:

- *лінійні*, в результаті яких знаходять відстані між точками місцевості;
- *кутові*, які визначають горизонтальні і вертикальні кути на задані точки;
- *висотні*, за допомогою яких отримують перевищення між точками.

Знімання місцевості здійснюються як способом безпосередніх наземних вимірювань, так і опрацюванням матеріалів аеро- та космічних зніманих. Тому знімання прийнято поділяти на два основних види: *наземні* та *дистанційні* (повітряні).

Наземні знімання ділянок місцевості залежно від призначень, тобто від того, яку кінцеву продукцію треба отримати (план, топографічний план, профіль), поділяють на:

- горизонтальні (планові);
- вертикальні (нівелювання);
- висотно-планові (топографічні).

Тобто, знімання, в результаті якого отримують план або карту із зображенням ситуації і рельєфу, називається топографічним.

10.2. Знімання ситуації місцевості полягає у визначенні положення характерних точок контурів і місцевих об'єктів відносно вершин і сторін робочої основи (знімальної мережі). Для одержання планового розміщення об'єктів застосовують такі способи знімань: полярних координат, перпендикулярів, засічок, обходу, створів.

Спосіб перпендикулярів (ординат або прямокутних координат) полягає в тому, що розміщення окремих точок місцевості визначають відносно базису чи сторони полігона. За вісь абсцис зазвичай слугує пряма лінія (вона ж базис), а перпендикулярні до неї напрями відіграють роль ординат. Спосіб перпендикулярів часто застосовують під час знімання витягнутих кривих і ламаних контурів, об'єктів місцевості, розташованих поблизу сторін полігона,

а також визначення відстаней, недоступних для безпосереднього вимірювання (рис. 10.1).

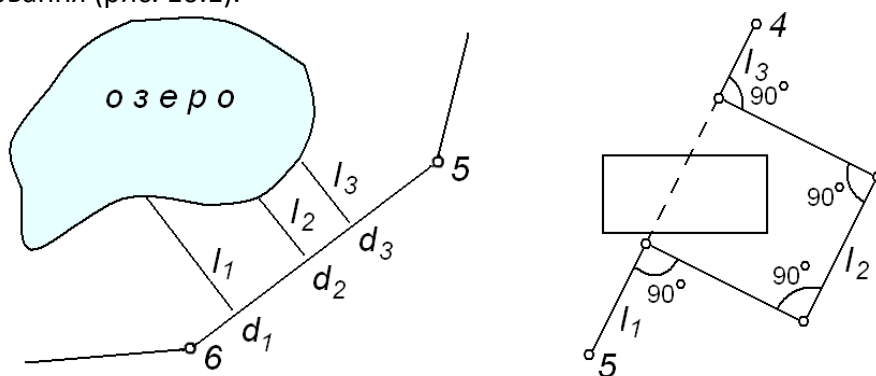


Рис. 10.1. Спосіб перпендикулярів

Спосіб полярних координат застосовують під час знімання ситуації на відкритій слабо розчленованій місцевості. Положення будь-якої точки на площині визначають полярним кутом β , утвореним *полярною віссю* і напрямом на точку, яку знімають, та відстанню (радіусом-вектором) l від полюса до цієї точки (рис. 10.2). Полюсом знімання є центр компаса чи іншого кутомірного приладу, встановленого на станції (точці знімальної мережі). За полярну вісь приймають північний напрям магнітного меридіана або напрям на візирну ціль (віху, рейку) передньої станції.

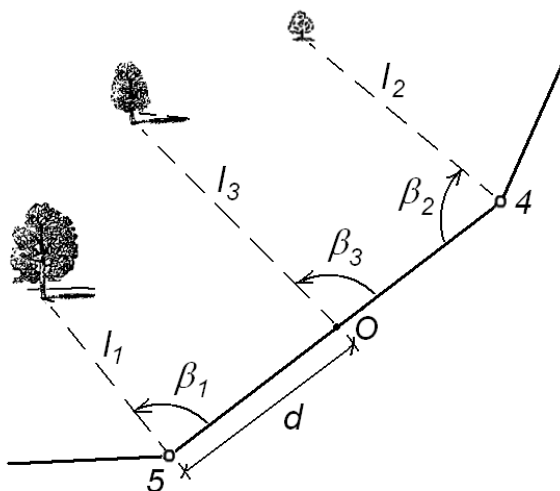


Рис. 10.2. Спосіб полярних координат

Спосіб засічок. Під час знімання важкодоступних або віддалених точок на відкритій місцевості застосовують *спосіб кутових засічок*. Для цього кутомірним приладом вимірюють кути γ і δ в точках 3 і 4 між стороною полігона і напрямом на дерево, яке знімають (рис. 10.3,а). Дерево на плані

буде отримане в перетині напрямів, побудованих за цими кутами. Найліпші результати одержують, коли кут при шуканій точці близький до 90° ; засічки під кутом до 30° і понад 150° дають неточні положення знімальних точок.

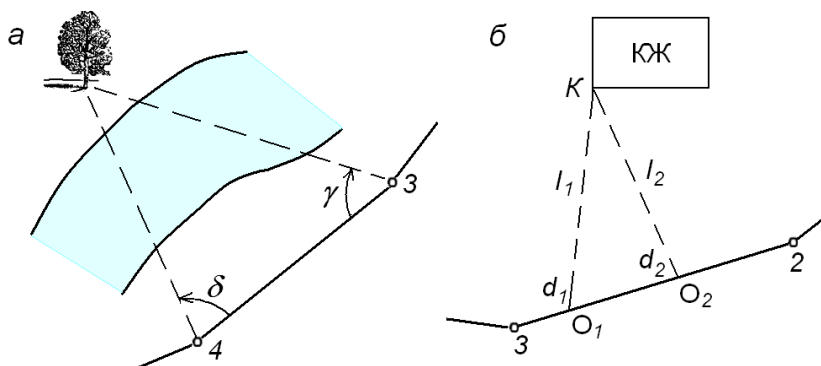


Рис. 10.3. Спосіб засічок: а – кутових; б – лінійних

У разі знімання доступних об'єктів з чіткими обрисами (будівлі, інженерні споруди тощо), розташованих поблизу сторін полігона, можна застосувати *спосіб лінійних засічок* (рис. 10.3,б). У цьому випадку з двох вихідних точок вимірюють два лінійні відрізки до точки, яку знімають. Тоді положення шуканої точки на плані одержать у перетині виміряних відрізків, відкладених у масштабі від вихідних точок.

Спосіб обходу застосовують у закритій місцевості для знімання об'єктів, які не можна зняти з точок і сторін робочої основи (полігона).

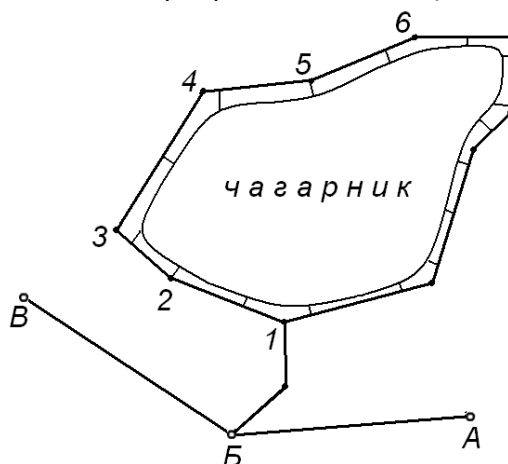
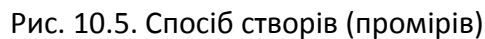


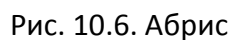
Рис. 10.4. Спосіб обходу

В цьому випадку навкруги об'єкта, який знімають, прокладають додатковий знімальний хід з прив'язкою до основного ходу (рис. 10.4). Межі контуру знімають від сторін додаткового ходу способом перпендикулярів. Якщо контур об'єкта, який знімають, має прямолінійні межі

Спосіб створів (промірів) застосовують у випадках, коли межі ситуації перетинають сторони полігона або продовження сторін, для визначення положення допоміжних опорних точок, під час знімання забудованих територій, особливо в поєднанні зі способами перпендикулярів та лінійних засічок (рис. 10.5).



Залежно від характеру і виду об'єкта, що знімають, рельєфу місцевості та масштабу, в якому потрібно укласти план застосовують той чи інший спосіб знімання ситуації. Результати вимірювань під час знімання ситуації заносять на схематичний рисунок місцевості – *абрис (зарис)*, масштаб якого приймають довільним (рис. 10.6).



На абрисі олівцем наносять взаємне розміщення вершин теодолітного ходу, ліній та місцевих предметів, подають елементи рельєфу, числові значення вимірювань та інші відомості, потрібні для складання карти (плану) у відповідному масштабі. Абрис має бути орієнтований по сторонах світу. Розмір абриса має забезпечувати чітке і точне розміщення на ньому всіх графічних побудов і записів. Абрис є основним документом знімання і матеріалом для укладання плану місцевості.

10.3. Залежно від назви основних приладів, якими виконують геодезичні вимірювання, і використовуваних методів, розрізняють наступні види знімань.

Окомірне знімання – контурне знімання місцевості, яке виконується на планшеті з компасом за допомогою візирної лінійки. В інженерній практиці даний вид знімання застосовується при попередньому ознайомленні з місцевістю, а також при вишукуваннях у малодосліджених районах. При поєднанні окомірного знімання з барометричним нівелюванням можна отримати топографічний план місцевості.

Бусольне знімання здійснюється за допомогою бусолі та мірної стрічки для одержання ситуаційного плану місцевості. Як правило, використовується для знімання відносно невеликих ділянок та як допоміжне при інших видах знімання. Широке розповсюдження бусольне знімання отримало у лісовому господарстві.

Теодолітне знімання – це горизонтальне знімання місцевості, яке виконують за допомогою кутомірного приладу (теодоліта) і мірної стрічки, рулетки або оптичного далекоміра. У ході такого знімання вимірюються горизонтальні кути і відстані, в результаті чого отримують ситуаційний план місцевості із зображенням контурів і місцевих предметів. Широкого поширення такий вид знімання набув у землевпорядній практиці.

Тахеометричне знімання виконується тахеометрами (теодолітами, оснащеними вертикальними кругами і далекомірами). При цьому на місцевості вимірюють горизонтальні і вертикальні кути та відстані до точок. За результатами польових вимірювань у камеральних умовах будують топографічний план місцевості, тобто план із зображенням рельєфу. Такий вид знімання набув широкого поширення в інженерній практиці.

Мензульне знімання здійснюється за допомогою мензули (горизонтального столика) і кіпрегеля (спеціального кутонарисного приладу, оснащеного вертикальним кругом і далекоміром). Топографічний план із рельєфом створюється безпосередньо у полі, що дозволяє зіставляти отриманий план із місцевістю, забезпечуючи тим самим своєчасний контроль вимірювань. У свій час таке знімання набуло широкого поширення у гідромеліоративному будівництві.

Висотне знімання виконується з метою визначення висот точок. Може здійснюватися різними методами (геометричне, тригонометричне, барометричне, гідростатичне, механічне, стереофотограмметричне), суть яких було розглянуто раніше.

Наземне фототопографічне знімання виконується фототеодолітом, який являє собою поєднання теодоліта і фотокамери. В результаті фотографування місцевості з двох точок лінії (базису) і подальшого опрацювання фотознімків на спеціальних фотограмметричних приладах отримують контурний і топографічний план. Це знімання застосовується під час дорожніх, геологічних, маркшейдерських та інших вишукувань.

Дистанційні знімання здійснюються спеціальними фотоапаратами, встановленими на літальних об'єктах (літаках, супутниках, дронах (рис. 10.7) та ін.).



Рис. 10.7. Знімання місцевості з використанням БПЛА

Цей вид знімання є найпрогресивнішим, він передбачає широку механізацію й автоматизацію виробничих процесів, що дозволяє в короткі терміни без залучення великих людських і фінансових ресурсів (порівняно з іншими методами) отримувати досить точні картографічні матеріали.

Тема 11.

Орієнтування на місцевості. Глобальні позиційні системи.

- 11.1. Суть орієнтування та орієнтири. Визначення напрямів при орієнтуванні на місцевості.
- 11.2. Визначення відстаней при орієнтуванні на місцевості.
- 11.3. Визначення горизонтальних і вертикальних кутів, висот предметів простими способами.
- 11.4. Загальні відомості про глобальні позиційні системи.

11.1. Орієнтування на місцевості – визначення свого місця розташування відносно сторін горизонту за допомогою компаса, карти або аерознімка. Наближене орієнтування можливе за місцевими орієнтирами (природними і штучними), положенням Сонця, Місяця, зірок, а також за допомогою радіо-, світлових і звукових сигналів.

Орієнтування на місцевості можливо, якщо враховувати деякі природні явища. Розподіляють наступні способи.

Орієнтування за сонцем.

Орієнтування за сонцем та годинником зі стрілками доволі точний спосіб. Сонце сходить у східній частині небосхилу, заходить – у західній і вдень йде до заходу через південну частину небосхилу. Для орієнтування направляють годинну стрілку на сонце. У першій половині дня південь буде праворуч від сонця, а після обіду навпаки – ліворуч.

Орієнтування за зірками.

У північній півкулі орієнтуються по Полярній зірці, що вказує на північ, а в південній – по Південному хресту.

Орієнтування за прикметами на місцевості (рис. 11.1).

- Кора дерев товстіша і грубіша з північного боку.
- Мохи та лишайники люблять багато вологи, тому вкривають стовбури дерев та камені з північної сторони, яка повільніше висихає, тому що на неї не потрапляють сонячні промені. Це ж стосується і грибів, які ростуть з північної сторони дерев, кущів та пеньків.
- Ягоди дозрівають швидше з південної сторони куща, яка краще освітлюється й нагрівається сонячними променями, ніж з північної. Саме тому в поодиноких дерев, що ростуть на галявинах, з південної сторони гілки дерев густіші та довші, ніж з північної.

- На південних схилах горбів сніг розтає швидше, ніж на північних, тому що вони краще нагріваються сонячними променями. Це явище теж можна використати для орієнтування.
- З північної сторони на деревах і каміннях більш рясний і густий мох.
- Окреме дерево на відкритому просторі має пишнішу крону з південної сторони.

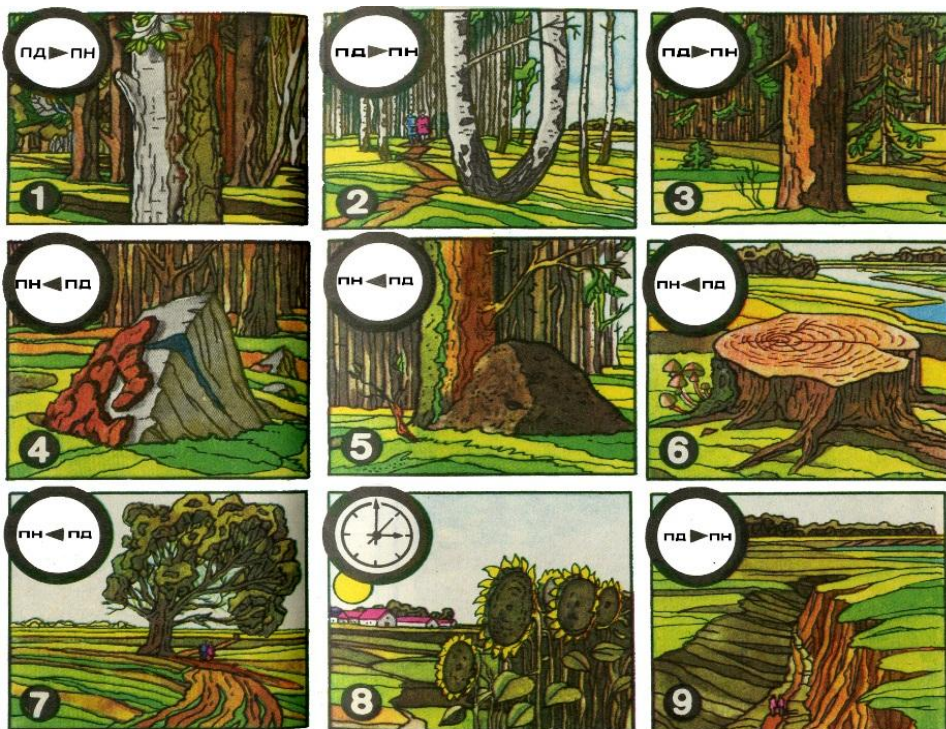


Рис. 11.1. Приклади орієнтування на місцевості

11.2. На практиці може виникати необхідність знайти відстань до недоступного предмета, визначити ширину річки чи яру тощо. Такі задачі можна розв'язувати без спеціальних приладів, знаючи наведені на рис. 11.2 залежності.

Пройдену відстань можна знайти, перемноживши довжину свого кроку на їх кількість чи за часом руху при відомій швидкості.

Якщо врахувати, що звук розповсюджується зі швидкістю 330 м/с або 1 км за 3 с, то відрахувавши, скільки пройшло часу від моменту спалаху блискавки, пострілу, гудка тепловоза тощо, можна доволі точно визначити відстань до джерела звуку.

За звуком можна визначити приблизну відстань до об'єктів. Відомо, скажімо, що шум автомобіля чути до 2 км, стук сокири – до 300 м, людську мову – до 200 м.

На основі практичного досвіду встановлено відповідність видимості предметів на місцевості певним віддалям. Так, видні на віддалі:

- 50 м – виразно очі і ніс на обличчі людини;
- 100 м – обличчя загалом, лінія, де починається волосся;
- 200 м – обриси голови і пліч людини;
- 300 м – рами у вікнах, загальний обрис обличчя людини, колір і елементи одягу;
- 500 м – силуети людей і тварин, великі сучки дерев;
- 1 км – стовбури дерев, стовпи, силуети літаків;
- 2 км – великі окремо розміщені дерева;
- 5 км – окремі будинки;

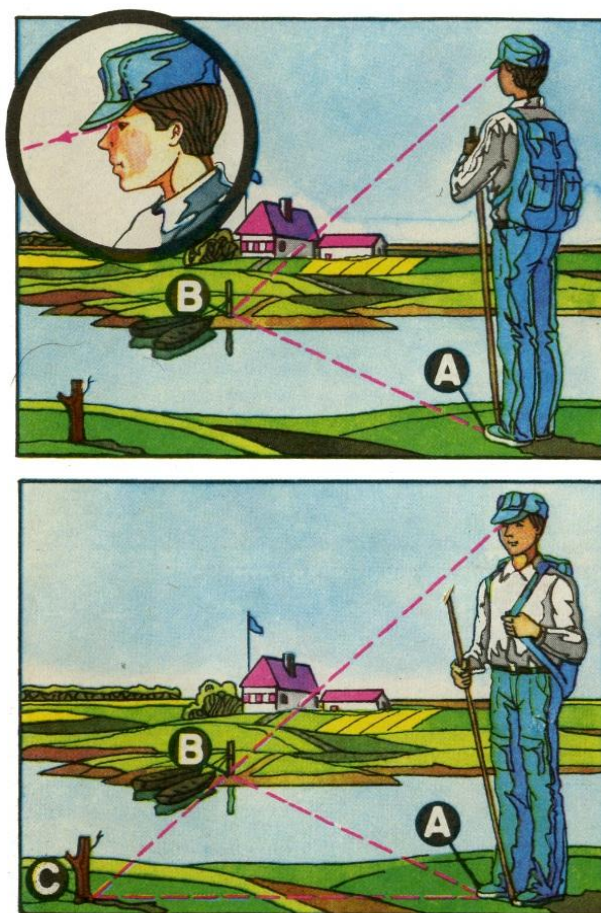


Рис. 11.2. Визначення ширини перешкоди

11.3. Дуже часто приходится визначати величини кутів без кутових приладів. Вміння цьому не з'являється відразу, для цього потрібно мати певний досвід.

Встановлено, що відстань до основи вказівного пальця на витягнутій вперед руці дорослої людини становить 57-60 см. На такий віддалі кожний сантиметр відповідає кутовій величині 1° . Знаючи параметри своїх пальців (приклади наведено на рис. 11.3), можна легко поміряти будь-який кут: горизонтальний між двома предметами чи вертикальний на якусь точку.

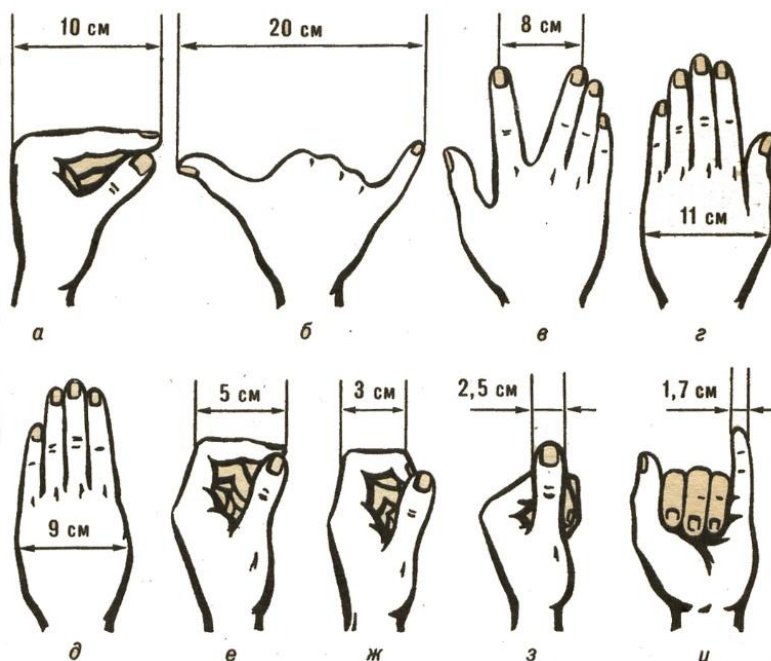


Рис. 11.3. Приклад градусних еталонів

Своєрідними еталонами можуть слугувати деякі підручні предмети, які мають постійні, стандартні розміри. Розміри еталонів визначають завчасно і записують чи запам'ятовують, щоб при необхідності швидко використати.

Визначити висоти предметів можна різними способами, Деякі приклади визначення висоти дерев наведено на рис. 11.4.

11.4. Всі глобальні супутникові системи навігації (GNSS) призначені для визначення місцезнаходження (географічних координат і висоти), точного часу, параметрів руху різних об'єктів, мають однакову структуру і складаються із трьох основних сегментів: космічного, наземного і сегменту користувача (рис. 11.5).

До космічного сегменту входять супутники, які обертаються навколо Землі. Орбіти супутників розраховані таким чином, щоб в будь-якій точці земної кулі в будь-який момент часу можна було спостерігати не менше 4 супутників. Ця мінімальна кількість супутників необхідна для визначення просторових координат: довготи, широти, висоти.

До наземного сегменту відносяться станції стеження, головний центр керування і основна станція керування. Станції стеження безперервно приймають сигнали від супутників і визначають відстані до них. Крім цього, на станціях ведеться метеорологічне зондування атмосфери з метою визначення поправки за вплив тропосфери. Результати обробки сигналів і зондування атмосфери зі станцій стеження передаються до головного центру керування, в якому обчислюються ефемериди супутників на 12 годин вперед. Ці дані пересилаються на супутники, а вони, в свою чергу, передають їх на GNSS приймачі користувачів. Основна станція керування може корегувати орбіти супутників.

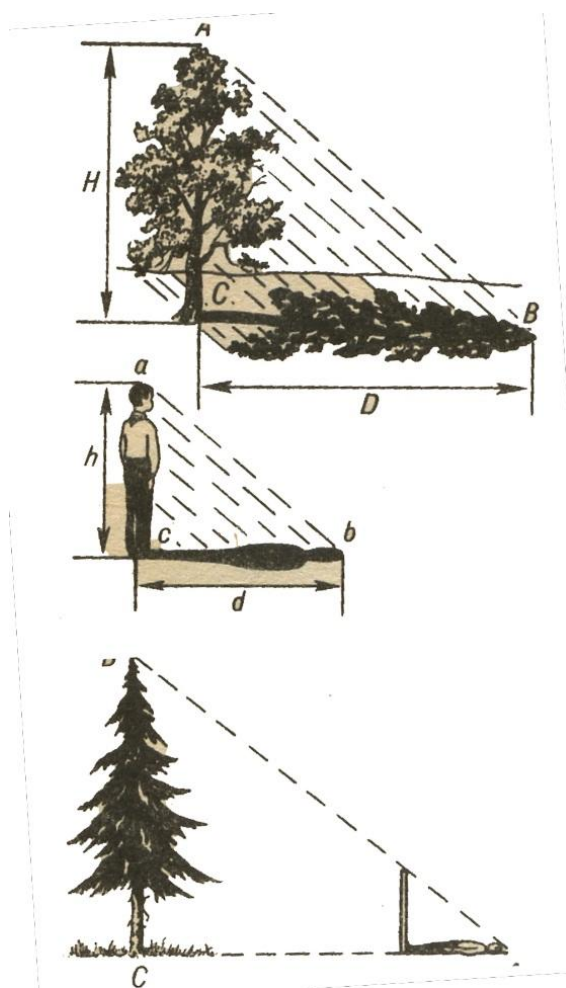


Рис. 11.4. Визначення висоти дерев

До сегменту користувача входять всі GNSS приймачі. Для збільшення точності обробки GNSS даних використовується метод диференціальної

корекції. Приймачі можна умовно поділити на три основні групи: геодезичні, навігаційні і для задач ГС.

На теперішній час працюють або готуються до розгортання наступні системи супутникової навігації:

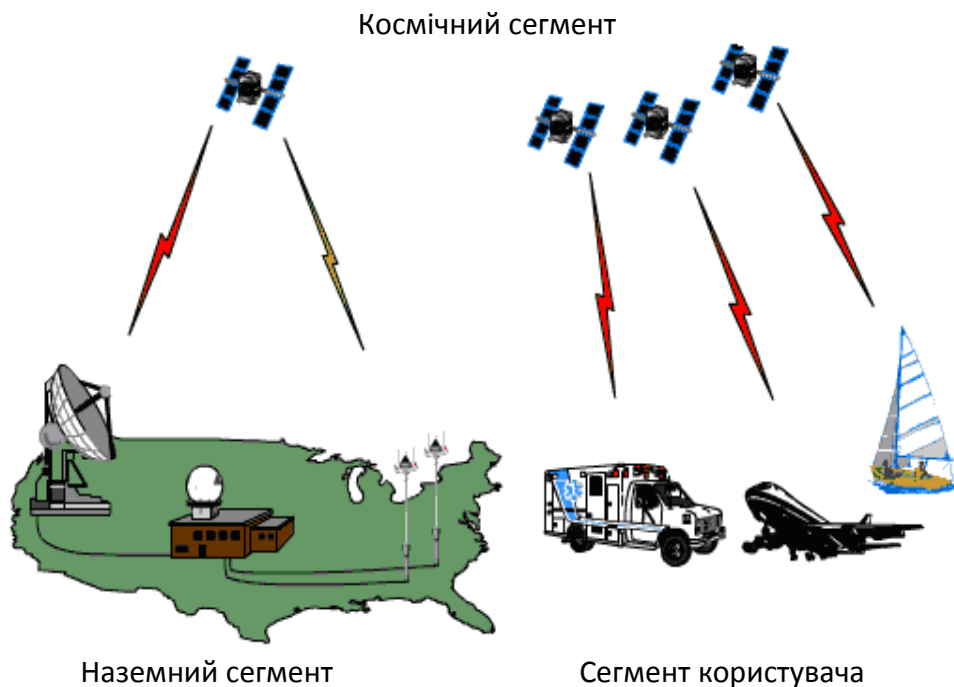


Рис. 11.5. Структурна схема GNSS

- GPS. Мала початкову назву NAVSTAR. Належить міністерству оборони США. На даний час є найбільш поширеною у світі.
- ГЛОНАСС. Мала початкову назву Цикада. Належить міністерству оборони Росії. Широкого розповсюдження не отримала. До 2025 р. передбачається глибока модернізація системи.
- Compass. Розгортається Китаєм. У зв'язку із невеликою кількістю супутників на геостационарній орбіті, призначена для використання тільки в цій країні.
- Galileo. Проект супутникової системи навігації Європейського Союзу та Європейського космічного агентства. Заплановано, що повністю супутникове групування буде закінчено у 2020 р.
- IRNSS. Індійська навігаційна супутникова система, знаходиться у стані розробки. Передбачається для використання тільки в цій країні.
- QZSS. Японська навігаційна супутникова система. На стадії розробки. Запланована для використання в Японії та сусідніх районах Південно-Східної Азії.

Література

1. Божок А. П., Барановський В. Д., Дрич К. І. Топографія з основами геодезії. К. : Вища школа., 1995. 275 с.
2. Геодезія. Частина перша / За загальною редакцією С. Г. Могильного і С. П. Войтенка. Донецьк, 2003. 458 с.
3. Геодезія. Частина І. Черняга П. Г., Дмитрів О. П., Стахів Я. А. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне : НУВГП, 2009. 296 с.
4. Земледух Р. М. Картографія з основами топографії. К. : Вища школа, 1993. 456 с.
5. Лозинський В. Топографічна карта. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 56 с. URL: <http://old.geography.lnu.edu.ua/> (дата звернення 25.06.2020).
6. Остапчук С. М., Романчук С. В. Камеральні геодезичні роботи. Рівне : УІІВГ, 1994. 126 с.
7. Остапчук С. М. Топографічне креслення. Рівне : НУВГП, 2006. 119 с.
8. Панчук Ю. М., Бялик І. М., Янчук О. Є. Інженерна геодезія. Рівне : НУВГП, 2012. 337 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2185/> (дата звернення 25.06.2020).
9. Ратушняк Г. С. Топографія з основами картографії. К. : Центр навчальної літератури, 2003. 208 с.
10. Топографія / О. І. Мороз. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. 220 с.